



***APLICACIÓN DE LOS ENSAYOS NO
DESTRUCTIVOS. ANÁLISIS DE PÉRDIDAS
ENERGÉTICAS MEDIANTE TERMOGRAFÍA
INFRARROJA EN UN REMOLCADOR.***



Ingeniería Técnica Naval, Esp. Estructuras Marinas

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Resumen

La Universidad Politécnica de Cartagena, concretamente el departamento de I+D dispone de una cámara termográfica para la enseñanza y proyectos de investigación. En ésta ocasión con el apoyo del departamento de ingeniería e investigación, se utilizó para realizar los informes termográficos de las cámaras de máquinas de dos embarcaciones.

Este proyecto final de carrera pretende ser impulsor de la utilización de la tecnología en equipos y servicios de un buque o artefacto flotante, en este caso en concreto para analizar y diagnosticar patologías térmicas.

La Termografía es un método de inspección y diagnóstico basado en la radiación infrarroja que emiten los cuerpos. Permite medir dicha radiación a distancia y sin contacto, obteniendo un termograma o imagen termográfica, objeto de estudio de este proyecto.

Todos los cuerpos que se encuentran a una cierta temperatura emiten radiación infrarroja. Sin embargo, para hacer una inspección termográfica hay que tener en cuenta la emisividad de los cuerpos, capacidad que tienen de emitir radiación, ya que ésta no sólo depende de la temperatura del cuerpo, sino también de sus características superficiales.

Las herramientas necesarias para conseguir un termograma son principalmente una cámara termográfica y un software que permita su análisis. La cámara percibe la emisión infrarroja de un objeto y lo convierte en una imagen visible, originalmente monocromática. Sin embargo, después es coloreada por la propia cámara o por un software para una interpretación más fácil del termograma.

Para obtener estas imágenes termográficas existen varias técnicas, que se diferencian en cómo la energía calorífica se transfiere al cuerpo. Estas técnicas se clasifican en termografía pasiva, activa y vibrotermografía. El método que se utiliza en cada caso depende de las características térmicas del cuerpo, del tipo de discontinuidad a localizar o la resolución espacial de las imágenes, entre otros factores.

Para analizar las imágenes, detectar discontinuidades y así obtener diagnósticos, es importante la precisión. Por ello existe un procesamiento de las imágenes, para minimizar los efectos provocados por causas externas, mejorar la calidad de la imagen y extraer información de las inspecciones realizadas.

La termografía es un método de ensayo no destructivo muy flexible y que ofrece muchas ventajas. Por esta razón el campo de aplicaciones muy amplio, abarcando aplicaciones industriales, investigación y desarrollo, vigilancia, seguridad, ahorro energético, medicina y medio ambiente, son algunos de los campos donde la termografía aporta importantes beneficios.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Este proyecto es un estudio teórico de la termografía, donde se describen detalladamente cada uno de los aspectos mencionados. Concluye con una aplicación práctica, elaboración de informes a través de la técnica de termografía pasiva, realizando un análisis de las imágenes obtenidas con la cámara. Con esto se demuestran algunas de las teorías explicadas, así como la posibilidad de reconocer objetos mediante la termografía.



Agradecimientos

*Quiero expresar agradecimiento al departamento de I+D
de la Universidad Politécnica de Cartagena, por ofrecer los medios necesarios y al tutor,
Federico López-Cerón de Lara
por confiar y prestar la ayuda necesaria para realizar este proyecto. También a todos
los profesores de la universidad de los que he aprendido tanto en estos años.*

*En primer lugar quisiera
agradecer a mi familia, en especial a
mis padres y hermana, por su apoyo y paciencia,
por confiar en mí siempre y darme la
oportunidad de estudiar esta carrera.
A mis amigos, por estar siempre ahí,
compartiendo los buenos y malos
momentos, y haciendo más fáciles
todos estos años: Pablo (Pau),
Victor... y en especial a mi pareja Encarni,
por creer en mí y ser
en los últimos años,
mi gran apoyo y principal
motivación para terminar este
proyecto, y por fin, la carrera.*

Francisco Javier Villaescusa Egea



INDICE

Índice de Figuras	9
Índice de Tablas	12
Capítulo 1. Introducción	13
Capítulo 2. Estado del Arte	14
2.1. Historia de la Termografía	14
2.2. Espectro electromagnético	15
2.3. Imágenes infrarrojas Vs Imágenes de espectro visible	18
2.3.1. El espectro visible	18
2.3.2. El espectro electromagnético	18
2.3.3. El espectro visible Vs El espectro electromagnético	20
2.4. Fundamentos de la Termografía	21
2.4.1. Leyes y Principios básicos	22
2.4.2. Reflexión en la superficie terrestre: espectro solar	26
2.4.3. Curva de reflectividad espectral	28
2.4.4. Reflectividad espectral de la vegetación, suelo y agua	28
2.4.5. Emisión térmica de los cuerpos naturales	30
2.4.5.1. Temperatura radiativa de un cuerpo	30
2.4.5.2. Emisividad espectral	31
2.4.5.3. Interacción de la radiación térmica con los cuerpos terrestres	32
2.4.5.4. Resumen de conceptos	33
Capítulo 3. Obtención de Imágenes Termográficas	37
3.1. Procedimientos de obtención	37
3.1.1. Termografía pasiva	37
3.1.2. Termografía activa	38
3.1.2.1. Termografía Activa Pulsada (PT)	38
3.1.2.2. Lock-in (LT)	39
3.1.2.3. Pulso Largo (ST)	41
3.1.2.4. Fase Pulsada	41
3.1.3. Vibrotermografía	42
3.2. Hardware y software asociado	43
3.2.1. Cámaras Termográficas	43
3.2.1.1. Cámaras con detectores criogenizados	43
3.2.1.2. Cámaras con detectores al ambiente	44
3.2.1.3. Cámaras infrarrojas activas	44
3.2.1.4. Cámaras infrarrojas pasivas	44
3.2.1.5. Otros tipos de cámaras	45
3.2.2. Funcionamiento de una cámara termográfica	45
3.2.2.1. Sistema óptico	46
3.2.2.2. Detectores térmicos	47
3.2.2.3. Mecanismo de escáner (barrido)	48
3.2.2.4. Procesado de señal	49
3.2.2.5. Monitor	50
3.2.2.6. Resolución espacial	50
3.2.2.7. Preparación del equipo	51

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



3.2.2.8. Parámetros que se deben controlar.....	51
3.2.2.9. Normas y cualificación.....	54
3.2.2.10. Cámaras comerciales y su software.....	59
3.2.2.11. Otros equipos.....	65
Capítulo 4 Análisis de Imágenes Termográficas.....	70
4.1. Preprocesado de Imágenes Termográficas.....	70
4.1.1. Píxeles defectuosos (badpixels).....	70
4.1.2. Ruido de Patrón Fijo (FPN).....	71
4.1.3. Encuadre (vignetting).....	71
4.1.4. Calibración de temperatura.....	71
4.1.5. Reducción de ruido.....	72
4.2. Procesado.....	73
4.2.1. Métodos de contraste térmico.....	73
4.2.1.1. Contraste térmico clásico.....	73
4.2.1.2. Contraste Absoluto Diferencial.....	75
4.2.1.3. CAD modificado por cuádruplos térmicos.....	76
4.2.2. Termografía de fase pulsada.....	78
4.2.3. Reconstrucción de señales termográficas.....	80
4.2.4. Termografía de componentes principales.....	81
4.2.5. Redes neuronales artificiales.....	82
4.3. Post-Procesado.....	83
4.3.1. Algoritmos de detección de defectos.....	83
4.3.2. Métodos de inversión de la profundidad.....	84
4.3.2.1. Contraste térmico.....	84
4.3.2.2. Frecuencia límite.....	84
4.3.2.3. Modelos estadísticos.....	85
4.3.2.4. Discontinuidades de tamaño.....	86
Capítulo 5 Usos y Aplicaciones de la Termografía.....	87
5.1. Aplicaciones de la Termografía en Edificios.....	92
5.1.1. Objetivos.....	93
5.1.2. Factores que afectan a la medida.....	94
5.1.3. Metodología.....	95
5.1.4. Identificación de defectos.....	97
5.1.4.1. Aislamiento (puentes térmicos y deficiencias de aislamiento).....	97
5.1.4.2. Fugas de calor e infiltraciones de aire.	98
5.1.4.3. Detección de humedades y daños por agua.	100
5.1.4.4. Detección de materiales y estructuras.....	100
5.2. Termografía en Aplicaciones Ambientales.....	101
5.2.1. Localización de áreas de acumulación de desechos antiguos.....	101
5.2.2. Localización de tanques bajo tierra en zonas industriales.....	102
5.2.3. Detección de incendios forestales.....	103
5.2.3.1. Descripción del sistema.....	103
5.2.4. Control de la Calidad del Aire.....	105
5.2.5. Otras Aplicaciones Ambientales.....	105
5.3. Termografía en Energía Eólica.....	106
5.3.1. Aerogeneradores.....	106
5.3.2. Objetivos.....	108

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



5.3.3. Metodología.....	108
5.3.3.1. Inspección termográfica de las palas del rotor.....	109
5.3.3.2. Identificación de los defectos.....	110
5.4. <i>Termografía en energía Solar</i>	114
5.4.1. Instalaciones fotovoltaicas.....	115
5.4.2. Paneles fotovoltaicos.....	115
5.4.3. Objetivos.....	117
5.4.4. Metodología.....	117
5.4.4.1. Inspección de Paneles Solares.....	117
5.4.4.2. Otros elementos a inspeccionar.....	118
5.4.5. Identificación de discontinuidades.....	119
5.4.6. Importancia de la termografía en la Energía Solar.....	120
5.5. <i>Termografía en Aplicaciones Aéreas</i>	120
5.5.1. Metodología.....	121
5.5.1.1. Trazamiento de Mapas Térmicos, Orto-rectificación y Procesamiento Posterior.....	121
5.5.2. Objetivos.....	123
5.5.2.1. Pérdidas en cañerías de vapor.....	123
5.5.2.2. Aviones.....	124
5.5.2.3. Misiones de búsqueda y rescate.....	124
5.6. <i>Termografía en Medicina</i>	125
5.6.1. Objetivos.....	125
5.6.1.1. Cáncer de Mama.....	127
5.6.1.2. Veterinaria.....	128
5.6.1.3. Inflamación.....	128
5.6.1.4. Lesiones musculares.....	129
5.6.1.5. Lesiones nerviosas.....	129
5.6.1.6. Medicina preventiva.....	129
5.6.1.7. SARS.....	129
5.7. <i>Termografía en Industria</i>	130
5.7.1. Termografía en instalaciones mecánicas.....	131
5.7.2. Termografía en sistemas de distribución eléctrica.....	133
5.7.2.1. Fallos en sistemas de distribución eléctrica.....	133
5.7.2.2. Tipos de inspecciones.....	134
5.7.2.3. Sistemas de distribución eléctrica.....	135
5.7.3. Otras áreas de aplicación en el mantenimiento industrial.....	142
5.7.4. Ventajas del mantenimiento preventivo con termografía.....	143
5.8. <i>Otras Aplicaciones</i>	143
5.8.1. Termografía en automóviles.....	143
5.8.2. Termografía para fines marítimos, seguridad, salvamento y rescate.....	144
5.8.3. Termografía en la agricultura y geología.....	151
5.8.4. Termografía en el arte y la restauración.....	153
5.8.5. Fotografía infrarroja.....	154
5.8.5.1. Fotografía digital.....	155



Capítulo 6 Aplicación Práctica	156
6.1. Objetivo	156
6.2. Desarrollo de la Práctica	156
6.2.1. Hardware e instrumental utilizado	157
6.2.1.1. Características a tener en cuenta en una cámara infrarroja	158
6.2.2. Software	163
6.2.3. Análisis de las imágenes	165
6.2.3.1. Hechos clave sobre termografía	165
6.2.3.2. Práctica y protocolo de medida	166
6.2.4. Desarrollo de la ficha modelo	171
6.3. Aplicaciones realizadas	177
6.3.1. Barco de Salvamento Marítimo “MIMOSA”	178
6.3.2. Buque Remolcador “V.B. CARTAGENA”	195
Capítulo 7 Conclusiones	241
Bibliografía	242
Artículos consultados	242
Páginas Web	244
Anexo 1	247
A.1. Tabla de emisividad de diferentes materiales	248



Lista de Figuras

Figura 1. Descomposición de la luz en el espectro visible al atravesar un prisma.....	13
Figura 2. Teoría Ondulatoria (Huygens, Maxwell) campo electromagnético.....	15
Figura 3. Diagrama del espectro electromagnético, mostrando el tipo, longitud de onda (con ejemplos), frecuencia y la temperatura de emisión del cuerpo.....	16
Figura 4. Espectro Electromagnético visible.....	17
Figura 5. Espectro Electromagnético.....	18
Figura 6. Fotografía de espectro infrarrojo (izquierda), espectro visible (derecha).....	19
Figura 7. Distribución de energía emitida por un cuerpo a distintas temperaturas...	
Figura 7.1. Distribución espectral de la energía emitida de dos cuerpos.....	22
Figura 8. Tabla de Emisividades naturales.....	30
Figura 9. Emisión, reflexión y transmisión de un cuerpo.....	31
Figura 10. Tabla de Emisividades en distintos materiales.....	33
Figura 11: Representación esquemática de termografía activa pulsada	37
Figura 12. Representación esquemática de lock-in	38
Figura 13. Representación esquemática de vibrotermografía	40
Figura 14. Esquema detallado del proceso de captación de imágenes infrarrojas.....	43
Figura 15. Camino de una señal infrarroja en un sistema de captación de imágenes infrarrojas	44
Figura 16: Mecanismo de escáner	46
Figura 17: Procesado de señal en una cámara termográfica moderna	47
Figura 18. Resolución espacial	48
Figura 19: Relación entre el tamaño de los objetos y la distancia a la cámara	49
Figura 20. Cámaras de la serie SC5000	61
Figura 21. Escáner RAYTEC	63
Figura 22. Sistema Thermo Scope	64
Figura 23. Captura del interfaz del SW controlador de un microscopio infrarrojo.....	65
Figura 24. Microscopio infrarrojo	66
Figura 25 (a) Placa de acero con 25 inclusiones de Teflon de diferentes tamaños y en varias posiciones; (b) termograma inicial tomado 209ms después del pulso de calor; (c) ruido de patrón fijo; (d) badpixels y vignetting; (e) curva de calibración de temperatura; (f) termograma en (b) con corrección de ruido de patrón fijo, badpixels y vignetting y calibrado en temperatura.	70
Figura 26. (a)Termograma sin filtrar; (b) termograma después de aplicarle un filtro Gaussiano: perfiles espaciales de los defectos (arriba), diagramas de fase (en medio) y resultados de segmentación usando el método de Canny para detección de bordes...	71
Figura 27. Curvas de temperatura y contraste térmico entre un área defectuosa y un área no defectuosa	72
Figura 28. Curvas CAD clásico de los defectos de 15 mm de diámetro en la muestra PRC006.	74



Figura 29. Placa finita de material compuesto sometida a un impulso térmico delta de Dirac	75
Figura 30. Curvas de CAD modificado de los defectos de 15 mm de diámetro en la muestra PFRC006.....	77
Figura 31. c) muestra una imagen de fase, o fasegrama, obtenida al aplicar la PPT a la secuencia corregida como en a). Como puede observarse, se logra una mejora considerable del contraste entre zonas sanas y defectuosas gracias a la utilización de la fase. Además, puede alcanzarse una mejora de contraste aún más notable al utilizar el algoritmo PPT con datos sintéticos de entrada en vez de datos brutos.	78
Figura 32. Evolución de temperatura en el dominio logarítmico en una muestra de compuesto (PFRC) con inserciones de Teflón a diferentes profundidades y con diferentes tamaños	79
Figura 33. (a) Configuración detector de discontinuidades (b) Configuración estimadora de profundidad	81
Figura 34. Curvas de evolución de la fase para diferentes regiones defectuosas	84
Figura 35: Ventana sin sellar	86
Figura 36: Tejado plano con filtración	87
Figura 37: Calentador de gas construido muy cerca de la pared (riesgo de incendio)	87
Figura 38: Células fotovoltaicas defectuosas en una placa solar	88
Figura 39: Informe vascular	89
Figura 40. Termograma de la fachada de un edificio	92
Figura 41. Termograma de la fachada de un edificio	96
Figura 42. Termograma de un falso techo	96
Figura 43. Claraboyas en la zona de la cubierta. Las columnas o pilares de muchos edificios pueden ser fuentes importantes de pérdidas de calor, y por ello se deberá poner especial cuidado a la hora del diseño y en la selección de los materiales.	97
Figura 44. Infiltraciones de aire frío en una vivienda	97
Figura 45. Termograma de una puerta	98
Figura 46. Pérdidas a través del tubo de canalización.	98
Figura 47. Termograma de un techo con humedad	99
Figura 48. Termogramas de dos viviendas diferentes	99
Figura 49. Tanque subterráneo de almacenamiento	101
Figura 50. Sistema de vigilancia	102
Figura 51. Imagen aérea de un terreno con peligro de incendio	104
Figura 52. Aerogenerador de eje horizontal	105
Figura 53. Aerogenerador de eje horizontal	106
Figura 54. Turbina eólica	108
Figura 55. Inspección pasiva de la parte interna de la parte interna de una pala de rotor con una cámara termográfica (izq.). Imagen termográfica de la parte interna de la pala del rotor (arriba dcha.). Defectos del encolado observados desde el exterior (abajo dcha.)	110



Figura 56. Imagen térmica de una pala de rotor mientras se está moviendo. Las partes de mayor brillo son las partes más calientes y muestran la acumulación de calor debido a las cargas mecánicas (flechas azules). En la imagen de la derecha las partes de mayor brillo indican delaminaciones producidas por el calor producido por la fricción de las micro-grietas (flechas rojas)	111
Figura 57. Sistema de termografía activa sobre raíles para la inspección de estructuras largas (izq.). Defectos de delaminado por filtraciones de aire en la fibra de vidrio (dcha.)	112
Figura 58. Sistema de pruebas de laboratorio sobre una cinta transportadora (izq.). Imagen térmica de una muestra de prueba que muestra delaminaciones en los puntos con más brillo (dcha.)	113
Figura 59. Instalación fotovoltaica	114
Figura 60. Panel fotovoltaico	115
Figura 61. Célula irradiada por el sol (Izq.) Célula no irradiada o en fallo (Dcha.)	115
Figura 62. Punto caliente en la misma posición de módulos diferentes.....	118
Figura 63. Célula sobrecalentada	118
Figura 64. Serie sobrecalentada	119
Figura 65. Mosaico de imagen infrarroja (geo-TIFF) de una universidad pequeña.	121
Figura 66. Imagen infrarroja e imagen visual de un sistema de vapor de agua con fuga coloreada en rojo.	123
Figura 67	125
Figura 68. Examen termográfico.....	126
Figura 69. Motor con un calentamiento excesivo	129
Figura 70. Termografía de suelo radiante	131
Figura 71. Inspección cualitativa.	133
Figura 72. Termografía obtenida desde el suelo	135
Figura 73. Elementos de suspensión en una torre de alta tensión (izq.) Elementos en una torre de paso aéreo a tierra (dcha.)	136
Figura 74. Punto caliente de un seccionador (izq.). Conexiones de un transformador	138
Figura 75. Seccionadores en un centro de transformación	140
Figura 76. Sistema de visión nocturna de un coche	142
Figura 77. Imagen de un sistema de visión nocturna de un coche	143
Figura 78. Imagen infrarroja de una plantas	150
Figura 79. UAV VTOL	150
Figura 80. Termograma de una erupción volcánica	151
Figura 81. Los Desposorios que pintó Goya, la escena del conjunto pictórico de Aula Dei que presenta más daños. Arriba, el detalle de una de las grietas de la pintura.	152
Figura 82. Fotografía infrarroja de Simon Marsden	153
Figura 83. Torre Eiffel	154
Figura 84. Ejemplo de muestra Infrarroja y digital de la captura en el Software.....	164
Figura 85. Ejemplo de muestra Infrarroja de la captura en el Software.....	164



Figura 86. Ejemplo de muestra Infrarroja y digital de la captura en el formato del informe del Software.....	164
Figura 87. Representación visual en diferentes colores.....	166
Figura 88. Reflexión en diversas superficies.....	170
Figura 89. Ejemplo de informe.....	176

Índice de Tablas

Tabla 1: Características principales de diferentes tipos de detectores	45
Tabla 2. Especificaciones técnicas de la cámara Thermo Tracer H2630	56
Tabla 3. Especificaciones técnicas de la cámara TS 9100	58
Tabla 4: Especificaciones técnicas de la cámara FLIR i5/i7	60
Tabla 5: Especificaciones técnicas de la cámara SC5000	61
Tabla 6. Emisividades de diferentes materiales	214



Capítulo 1. Introducción

Se ha elegido esta tecnología para tratar de dar una información veraz de una forma fácil y rápida del estado de los equipos que pudieran necesitar una futura intervención.

Este estudio presenta los resultados obtenidos mediante unas fichas modelo en las que se integran un conjunto de datos relevantes de algunos equipos así como de su entorno, además de unas imágenes termográficas. Dichas imágenes serán objeto de estudio para evidenciar problemas y patologías.

Los componentes a estudiar están situados en la cámara de máquinas de un buque. El difícil acceso a determinados equipos o máquinas permiten a través de la termografía apreciar eficazmente de una forma sencilla y rápida el estado de las instalaciones. De los modelos a analizar se han elegido ejemplos representativos de diferentes equipos, con el fin de analizar la evolución de los mismos.

El objetivo principal de este proyecto es el estudio teórico de las imágenes termográficas. Para ello se estudian las técnicas y herramientas que se utilizan para la obtención de dichas imágenes, su procesado, análisis posterior, y sus aplicaciones.

El proyecto va a constar de siete capítulos. Se partirá del estado del arte, que consistirá en una visión general de la termografía desde su base.

Se comenzará con un breve resumen de la historia de la termografía. A continuación se explicarán los fundamentos de la termografía, y se dará una noción de los usos y aplicaciones de ésta.

En el capítulo tres se hará una descripción y clasificación de los diferentes procedimientos de obtención de imágenes termográficas, además de presentar el hardware, software que se utiliza y su funcionamiento.

En el cuarto capítulo se tratará el procesado de las imágenes, dividido en tres pasos: pre-procesado, procesado y post-procesado. Para esto existen diferentes métodos de tratamiento digital, y se estudiarán todos en este capítulo.

El quinto capítulo ofrecerá una visión general de las aplicaciones de la termografía. A continuación se profundizará en algunas de ellas, obteniendo así una idea más clara de cómo se aplica esta técnica en diferentes campos.

En el sexto capítulo se presentará la experiencia práctica realizada a partir de una Cámara termográfica de la serie Flir, y su correspondiente análisis de imágenes térmicas.

Para finalizar, en el capítulo séptimo, se analizarán las conclusiones a las que se han llegado con la realización del presente proyecto.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

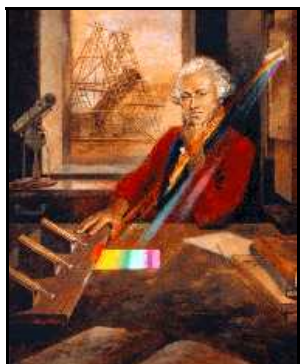
Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Capítulo 2. Estado del Arte

2.1. Historia de la Termografía

En el año 1800 el astrónomo alemán Frederick William Herschel descubre la existencia de la radiación infrarroja. Herschel colocó un termómetro de mercurio en el espectro obtenido por un prisma de cristal con el fin de medir el calor emitido por cada color. Descubrió que el calor era más fuerte al lado del rojo del espectro y observó que allí no había luz. Herschel deduce de manera correcta a partir de este hecho que se trata de una manifestación de una luz invisible por completo para el ojo humano.



Herschel

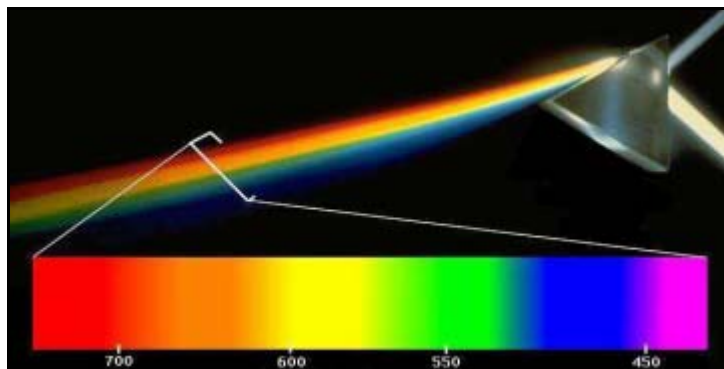


Figura 1. Descomposición de la luz en el espectro visible al atravesar un prisma.

A continuación denomina a esta luz “ultrarroja”, es decir situada más allá del rojo. Y a la radiación “rayos calóricos”, denominación bastante popular a lo largo del siglo XIX que, finalmente, fue dando paso al más moderno de radiación infrarroja. El nombre de infrarroja se refiere a la frecuencia de dicha luz. La frecuencia de la luz es menor cuanto más se avanza a lo largo de la totalidad del espectro de la luz visible desde el extremo violeta al rojo.

A mediados del siglo XX se desarrollaron los primeros sistemas infrarrojos para la medición de dicha radiación. Compuestos de varias unidades modulares de gran tamaño que formaban conjuntos pesados y difíciles de manejar. El elemento sensor era una aleación de diferentes elementos que por efecto fotoeléctrico producían una señal eléctrica al incidir la radiación infrarroja sobre él. El inconveniente que tenía esta técnica era que el sensor se calentaba y se necesitaba un sistema paralelo de refrigeración con nitrógeno líquido. Por esto, las primeras cámaras eran pesadas, grandes y poco manejables.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



La primera cámara térmica para aplicaciones militares fue desarrollada en Suecia en 1958 por una empresa llamada AGA, denominada actualmente FLIR Systems. Como es capaz de producir una imagen clara en oscuridad total, la tecnología termográfica ofrece la capacidad de ver y detectar las amenazas en las noches más oscuras. Las cámaras térmicas pueden ver a través de la niebla, la lluvia y la nieve. También tienen la capacidad de ver a través del humo, lo que aumenta su interés para usos militares, puesto que son capaces de ver a través de un campo de batalla totalmente cubierto. La primera cámara de infrarrojos destinada a aplicaciones comerciales se desarrolló en 1965, utilizándose para inspeccionar líneas de alta tensión.

Uno de los problemas que acarreaban estas primeras cámaras era su gran tamaño, teniendo que esperar hasta 1997 para que saliese al mercado la primera cámara realmente portátil. Tras el avance tecnológico, se desarrollaron los sensores de efecto térmico o también llamados microbolómetros. Estos a diferencia de los anteriores utilizaban el efecto térmico de la radiación infrarroja para variar las condiciones eléctricas de una microresistencia, compuesta por un material semiconductor, y así obtener una señal proporcional a la potencia del infrarrojo recibido. Esta tecnología ya no necesitaba ningún tipo de refrigeración y por tanto se pudo reducir de manera asombrosa el tamaño y el peso de los sistemas termográficos.

Muchos avances técnicos, un progreso importante en el campo de la tecnología informática y la llegada de la era digital en la mitad de los 90s provocaron la rápida evolución de las cámaras. La posibilidad de adquirir instrumentos de elevadas prestaciones a un precio cada vez más barato permitieron a la termografía acceder a un espectro muy amplio de aplicaciones civiles, convirtiéndose en una técnica indispensable consolidada en todo el mundo.

2.2. Espectro electromagnético

El científico escocés James Clerk Maxwell desarrolló una teoría en la que predijo que la luz, la radiación térmica y las ondas de radio son manifestaciones de la energía de la misma naturaleza y todas ellas se propagan en el vacío con una velocidad de 300 000 000 metros por segundo (3×10^8 m/s).

En esta teoría se comprueba que la electricidad y el magnetismo están relacionados entre sí, por lo cual se habla de la teoría electromagnética. En 1887, las predicciones de Maxwell fueron confirmadas experimentalmente por el físico alemán Heinrich Hertz (1857-1894), quién inició una nueva era en la ciencia y la tecnología.

Una carga eléctrica en reposo produce un campo eléctrico. Si la carga se mueve, además de crear un campo eléctrico origina un campo magnético a su alrededor. Estos campos eléctricos y magnéticos se propagan en forma de ondas transversales y perpendiculares entre sí.

No existe transporte de materia, únicamente se propaga energía, la cual se denomina energía radiante, la propagación de este tipo de energía constituye la radiación electromagnética.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Toda materia emite o absorbe radiación electromagnética, que es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes. Estos campos se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro. Dicha radiación sirve para identificar la materia.

LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

E = Campo Eléctrico
M = Campo Magnético
C = Velocidad

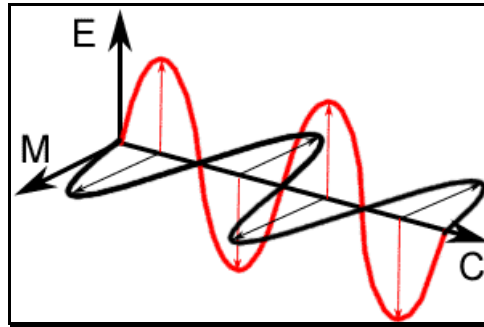
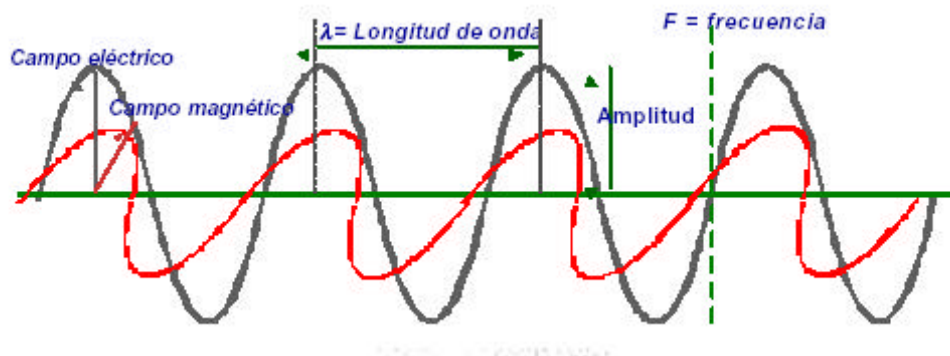


Figura 2. Teoría Ondulatoria (Huygens, Maxwell)



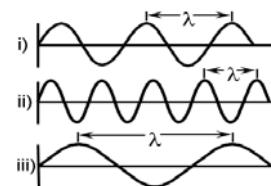
$c = 3 \cdot 10^8$ m/s; λ = Longitud de Onda; F = Frecuencia
 n = Índice de refracción; E = Energía; $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Js

$$c = \lambda \times F$$

Ec.1 Teoría Ondulatoria

$$v = c / n$$

Velocidad en otro medio



La radiación no se distribuye de forma continua, sino en forma de partículas discretas llamadas **fonones** de energía o **cuantos de luz**.

$$E = h \times F$$

Ec. 2 Teoría corpuscular. Explica la producción y transformación de la luz. (Ecuación de Plank, Einstein)
 h = constante de Plank.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Sustituyendo la ecuación 1 en la ecuación 2, la ecuación de Plank queda del siguiente modo:

$$E = h \times c / \lambda$$

En definitiva, la radiación electromagnética se propaga a la velocidad de la luz, no son desviadas por campos eléctricos ni magnéticos, no poseen masa, son en esencia, una cantidad determinada de energía que se desplaza a velocidad constante y cumple la ecuación de Plank.

A mayor longitud de onda, disminuye la frecuencia de oscilación y por tanto disminuye la cantidad de energía de radiación electromagnética.

La distribución energética del conjunto de las ondas que producen los campos electromagnéticos se denomina espectro electromagnético. Para su estudio, éste se divide en segmentos o bandas en función de la longitud de onda. Los rayos gamma, rayos X, ultravioleta, luz visible, infrarrojo, microondas y radiofrecuencia son las bandas en las que queda dividido. En la Figura 3 se representa un diagrama del espectro electromagnético, mostrando el tipo, longitud de onda (con ejemplos), frecuencia y la temperatura de emisión de un cuerpo.

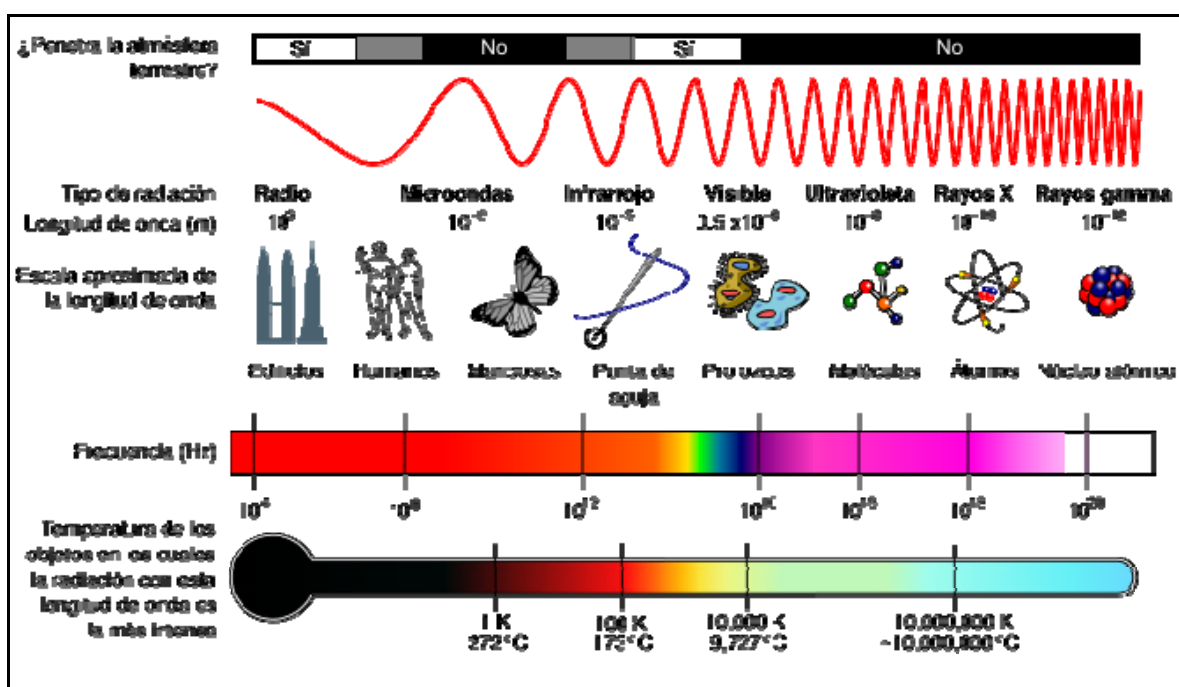


Figura 3. Diagrama del espectro electromagnético, mostrando el tipo, longitud de onda (con ejemplos), frecuencia y la temperatura de emisión del cuerpo.



Como ya se ha mencionado, dentro de este espectro electromagnético se encuentran los dos tipos de radiación que nos interesan, la luz visible, la única que el ser humano puede percibir, y la radiación infrarroja, relacionada directamente con la termografía, siendo su base fundamental. Por ello, a continuación se van a estudiar y comparar dichas radiaciones.

2.3. Imágenes infrarrojas Vs Imágenes de espectro visible

2.3.1. El espectro visible

Se denomina espectro visible a la región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir. A la radiación electromagnética en este rango de longitudes de onda se le llama luz visible o simplemente luz. No hay límites exactos en el espectro visible; un típico ojo humano responderá a longitudes de onda desde 400 a 700 nm, aunque algunas personas pueden ser capaces de percibir longitudes de onda desde 380 a 780 nm.



Figura 4. Espectro electromagnético visible.

2.3.2. El espectro electromagnético

La radiación infrarroja, radiación térmica o radiación IR es un tipo de radiación electromagnética de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las microondas. El nombre de infrarrojo significa por debajo del rojo pues su comienzo se encuentra adyacente al color rojo del espectro visible.

Consecuentemente, tiene menor frecuencia que la luz visible y mayor que las microondas. Su rango de longitudes de onda va desde unos 0,7 hasta los 300 micrómetros.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



	Denominación	Long. de Onda	Frecuencia	Energía
Radio	Radio Onda Muy Larga	> 10Km	< 30kHz	< 1 ⁻¹⁰ eV
	Radio Onda Larga	650m-10Km	30-650kHz	1,24 ⁻¹⁰ - 1,9 ⁻⁹ eV
	Radio de Onda Media (AM)	180-650m	650kHz-1,7MHz	1,9 ⁻⁹ - 6,9 ⁻⁹ eV
	Radio de Onda Corta	10-180m	1,7-30MHz	6,9 ⁻⁹ - 1,24 ⁻⁷ eV
	Muy Alta Frecuencia Radio (VHF)	1-10m	30-300MHz	1,24 ⁻⁷ - 1,24 ⁻⁶ eV
	Ultra Alta Frecuencia Radio (UHF)	30cm-1m	300MHz-1GHz	1,24e ⁻⁶ -4,14 ⁻⁶ eV
Microondas	Microondas	1mm-30cm	1GHz-300GHz	4,14 ⁻⁶ - 0,001 eV
Luz Infrarroja	Infrarrojo Lejano	50μm-1mm	300GHz-6THZ	0,001 - 0,02 eV
	Infrarrojo Medio	2,5-50μm	6THZ-120THZ	0,02 - 0,5 eV
	Infrarrojo Cercano	780nm-2,5μm	120THZ-384THZ	0,5 - 1,6 eV
Luz Visible	Rojo	625-740nm	384THZ-480THZ	1,6 - 2 eV
	Naranja	590-625nm	480THZ-508THZ	2 - 2,1 eV
	Amarillo	565-590nm	508THZ-531THZ	2,1 - 2,2 eV
	Verde	520-565nm	531THZ-577THZ	2,2 - 2,4 eV
	Celeste	500-520nm	577THZ-600THZ	2,4 - 2,5 eV
	Azul	450-500nm	600THZ-666THZ	2,5 - 2,7 eV
	Añil	430-450nm	666THZ-698THZ	2,7 - 2,9 eV
	Violeta	380-430nm	698THZ-790THZ	2,9 - 3,3 eV
Luz Ultravioleta	Ultravioleta Cercano (UVA)	315-380nm	790THZ-952THZ	3,3 - 4 eV
Radiación Indirectamente Ionizante	Ultravioleta Medio (UVB)	280-315nm	952THZ-1PHZ	4 - 4,4 eV
	Ultravioleta Extremo	10-280nm	1PHZ-30PHZ	4,4 - 124 eV
	Rayos X	10pm-10nm	30PHZ-30EHZ	124 - 124 MeV
	Rayos Gamma	<10pm	>30EHZ	> 124 MeV

Figura 5. Espectro electromagnético.

La radiación infrarroja es emitida por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor que 0 Kelvin, es decir, -273,15 grados Celsius (cero absoluto).

En la Figura 5 se muestra el espectro electromagnético. En él vemos la región ocupada tanto por el espectro visible como por el infrarrojo.



2.3.3. El espectro visible Vs El espectro electromagnético

Cómo podemos suponer de lo anterior, las imágenes en el dominio infrarrojo capturan un tipo de información muy diferente de las imágenes en el espectro visible. Si en el espectro visible la imagen de un objeto depende de la cantidad de luz que incide en su superficie y lo bien que la refleja, en el dominio infrarrojo, la imagen de un objeto está relacionada con su temperatura y la cantidad de calor que emite. En las siguientes fotografías (Figura 6) se puede observar esta diferencia.

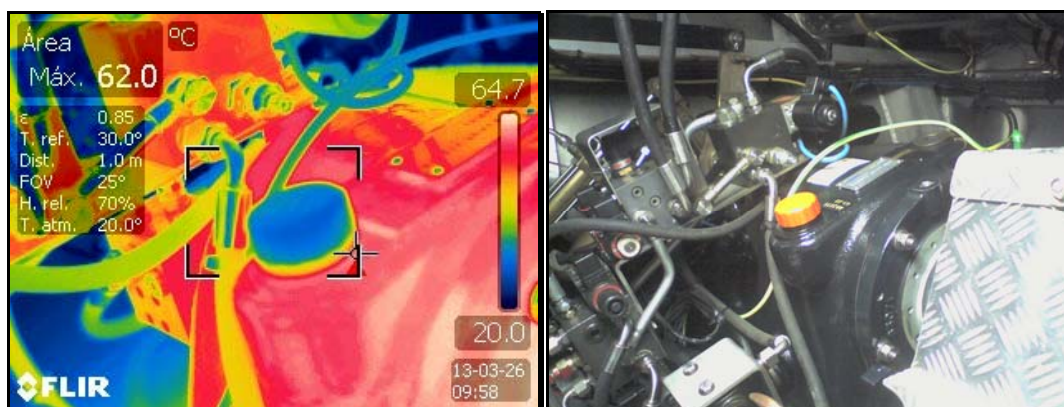


Figura 6. Fotografía infrarroja (izquierda), fotografía de espectro visible (derecha).

En el espectro visible se capta el color, ofreciendo una información más rica. Los límites de los objetos están bien definidos debido a que el contraste con el fondo es bueno. Por contraposición las imágenes infrarrojas resultan borrosas, tienen una peor resolución y un contraste entre fondo y objeto más bajo. Además las imágenes de espectro visible ofrecen mayor resolución.

Por otro lado las imágenes de espectro visible son altamente sensibles a los cambios de iluminación mientras que a las infrarrojas no les afectan tanto. Los niveles de intensidad en una imagen de infrarrojos son representativos de la temperatura de las superficies de los objetos. Además son menos sensibles al ruido, debido a la casi total ausencia de sombras y texturas que se originan cuando existen colores. Aunque las condiciones del tiempo, como por ejemplo, la lluvia o una niebla pesada, pueden modificar la firma termal de los cuerpos, limitando la efectividad de los sistemas de infrarrojos.

Es obvio, que la utilización bien de imágenes de espectro visible, bien de las infrarrojas, dependerá de la información que queramos extraer de las imágenes.

Debido a lo general que resulta la termografía infrarroja, el campo de aplicación de esta tiene una extensión que va más lejos de la simple toma de medidas de temperatura, y abarca tanto aplicaciones industriales como de investigación y desarrollo.



La localización de discontinuidades en instalaciones eléctricas, el análisis de delaminaciones de materiales compuestos, el control de procesos de fabricación, la vigilancia en condiciones nocturnas o de visibilidad reducida, la detección de pérdidas energéticas en edificación y hornos, o el estudio de dispositivos mecánicos... son algunos ejemplos en los que se pueden obtener importantes beneficios mediante el uso de la termografía infrarroja.

2.4. Fundamentos de la Termografía

La termografía es un método de inspección que permite la medición de la temperatura radiada por un cuerpo desde una cierta distancia y sin contacto. Con esta técnica se obtiene un mapa térmico de la superficie de los cuerpos, llamado termograma.

La termografía infrarroja utiliza la radiación emitida por cualquier cuerpo que se encuentre a una temperatura superior al cero absoluto. La longitud de onda de dicha radiación depende de la temperatura del cuerpo.

Cuando el flujo de calor en un cuerpo presenta alteraciones y anomalías, provoca contrastes de temperatura en su superficie. Estos patrones térmicos, reconocibles a simple vista o por medio del procesamiento de la imagen, se obtienen y analizan mediante la termografía y permiten la identificación de fallos en tiempo real.

La termografía se puede aplicar en cualquier área donde el problema u objetivo esté relacionado con una variación de temperatura.

El espectro infrarrojo se extiende desde el límite del rango visible hasta llegar a la región de las microondas. Sin embargo, existen dos regiones donde la transmisión es mas elevada, la zona de 760-2.000 nm (sistemas de onda corta) y la zona de 4.000-10.000 nm (sistemas de onda larga).

La radiación infrarroja cubre tres bandas de longitud de onda diferentes:

TIPO DE ONDA	RADIACIÓN	LONGITUD DE ONDA
Corta	IR-A	760-2.000 nm
Media	IR-B	2.000-4.000 nm
Larga	IR-C	4.000-10.000 nm

La figura 7 se muestra la distribución de energía emitida por un cuerpo a distintas temperaturas. Como puede observarse a mayor temperatura mayor es el pico de energía. La longitud de onda a la que ocurre el pico de energía se vuelve progresivamente más corta a medida que se incrementa la temperatura. A bajas temperaturas el pico de energía se produce en longitud de onda larga.

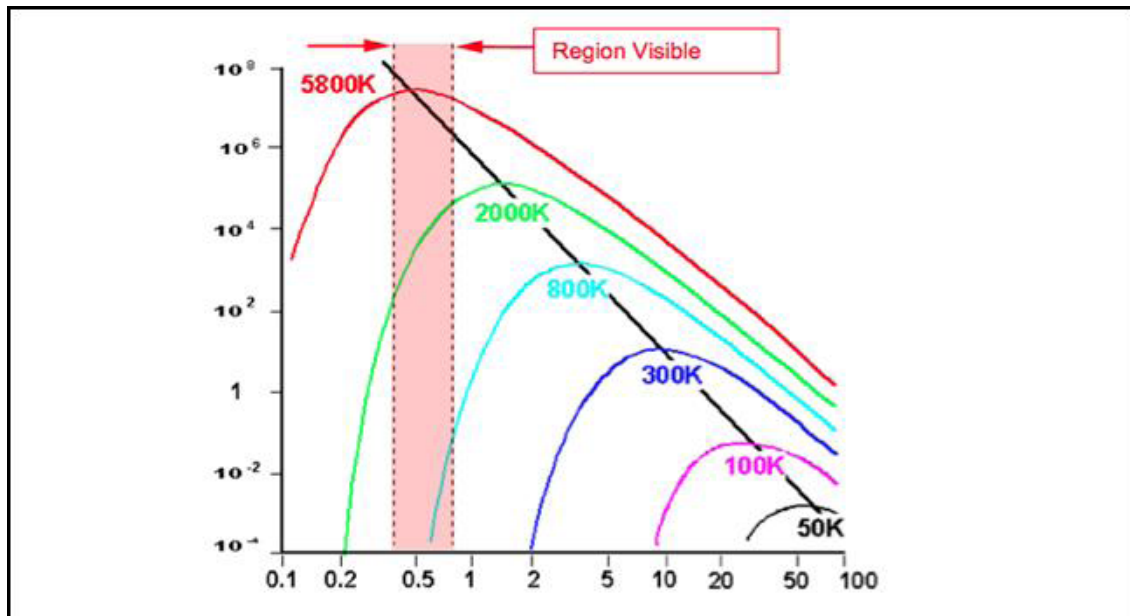


Figura 7. Distribución de energía emitida por un cuerpo a distintas temperaturas.

2.4.1. Leyes y principios básicos

La luz visible es sólo una de las muchas formas de energía electromagnética. Así, las ondas de radio, el calor, los rayos ultravioleta o los rayos X son otras formas comunes. Todas estas formas de energía radian de acuerdo a la teoría básica de ondas o **Teoría ondulatoria**, que describe como la energía electromagnética viaja con forma sinusoidal a la velocidad de la luz:

$$c = F \lambda \quad (1.1)$$

Donde c es un constante, $3 \cdot 10^8$ m/s, F es la frecuencia y λ la longitud de onda, que están inversamente relacionadas. En teledetección, lo normal es caracterizar a las ondas electromagnéticas por su longitud de onda en micras, es decir, por la posición que ocupan dentro del espectro electromagnético.



Aunque muchas características de la radiación electromagnética se describen fácilmente con la Teoría ondulatoria, no podemos olvidar la naturaleza corpuscular de la radiación descrita por la **Teoría cuántica**. Esta teoría establece que la radiación está compuesta de muchos elementos discretos denominados cuantos o fotones. La energía, E (en Julios) de cada uno de estos elementos viene dada por:

$$E = h F \quad (1.2)$$

Donde h es la constante de Planck ($6.626 \cdot 10^{-34}$ J s).

Si relacionamos las dos teorías de la radiación electromagnética, despejando la F en la expresión (1.1) y sustituyéndola en la (1.2) obtendríamos:

$$E = h c / \lambda \quad (1.3)$$

Que nos indica que la energía de un cuanto es inversamente proporcional a su longitud de onda, es decir, a longitudes de onda más largas menor cantidad de energía. Esto tiene implicaciones muy importantes en teledetección, de forma que la radiación de ondas largas como las microondas, que emiten los distintos cuerpos naturales de la superficie de la Tierra es mucho más difícil de detectar que la radiación de ondas más cortas como la energía IR térmica emitida. Así pues, en general, los sistemas detectores que operen a longitudes de onda largas deben observar en un instante de tiempo determinado, áreas de la Tierra lo suficientemente grandes para que se pueda recibir una señal de energía detectable por los sensores.

El Sol es la mayor fuente de radiación electromagnética para teledetección. Sin embargo, debemos recordar que toda materia a temperatura superior al cero absoluto emite continuamente radiación electromagnética. Así, todos los objetos terrestres (mares, suelos, vegetación, ciudades, etc.) son también fuentes de radiación, aunque de magnitud y composición espectral muy diferente a la del Sol.

La energía que radia un cuerpo por unidad de superficie es función, entre otras cosas, de la temperatura de dicho cuerpo. Esta propiedad se expresa por la **ley de Stefan- Boltzman**, que establece:

$$M = \sigma T^4 \quad (1.4)$$

Donde M es la emitancia radiante ($W m^{-2}$), σ es la constante de Stefan-Boltzman ($5.6697 \cdot 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$) y T es la temperatura absoluta del cuerpo que emite (K). La conclusión importante que se debe extraer de esta expresión es que la energía total emitida por un cuerpo varía con T^4 , y por lo tanto se incrementa rápidamente cuando aumenta la temperatura. Otra consideración a tener en cuenta es que esta ley supone que el cuerpo que emite se comporta como un cuerpo negro, que es un radiador ideal que emite toda la energía que absorbe.



La emitancia radiactiva espectral de un cuerpo negro, M_λ ($\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$), viene dada por la ley de Planck, tal que:

$$M_\lambda = c_1 / \lambda^3 (\exp(c_2 / \lambda T) - 1) \quad (1.5)$$

Donde c_1 es $3.74 \cdot 10^{-16} \text{ W m}^{-2}$ y c_2 , $1.44 \cdot 10^{-2} \text{ m K}$.

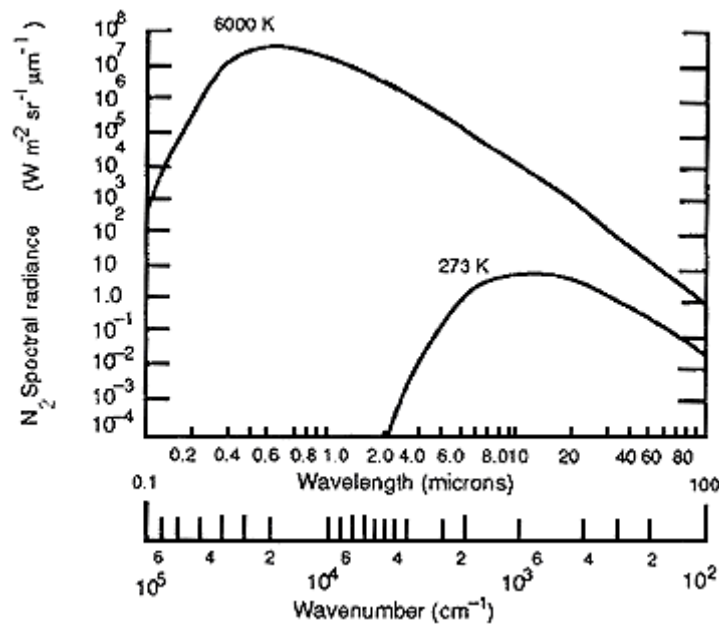


Figura 7.1. Distribución espectral de la energía emitida de dos cuerpos.

Además de variar la energía total emitida por el cuerpo con la temperatura, también varía la distribución espectral de la energía emitida.

Las curvas anteriores muestran la distribución de energía para dos cuerpos negros a temperaturas de 6000 K (Sol) y aproximadamente 300 K (Tierra). Las unidades en el eje de ordenadas expresan la radiancia espectral ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) de dichos cuerpos. El área bajo las curvas representa la radiancia o total de energía radiada por unidad de área y por ángulo sólido de medida.

La radiancia es un término fundamental en teledetección, ya que describe lo que realmente mide un sensor. Cuanta más alta es la temperatura del radiador también es más grande la cantidad total de radiación que emite.

Estas curvas también muestran que hay un desplazamiento hacia longitudes de onda más cortas en el máximo de la distribución de la radiación de un cuerpo negro a medida que aumenta la temperatura. La longitud de onda a la que se produce este máximo se conoce con el nombre de longitud de onda predominante y se relaciona con la temperatura por medio de **la ley de desplazamiento de Wien**:

$$\lambda = 2898 / T \quad (1.6)$$

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Esta ley es de gran importancia para seleccionar la banda espectral o longitudes de onda más convenientes para detectar un determinado fenómeno siempre que se conozca su temperatura. En el caso de los incendios forestales, donde la temperatura de combustión puede alcanzar los 725 K, la longitud de onda más adecuada para su detección sería aproximadamente 4 micras (canal 3AVHRRNOAA), situada en el infrarrojo medio. Por su parte, el Sol (6000 K) presenta un máximo entorno a la región visible del espectro, que pueden ver nuestros ojos o las películas fotográficas. La Tierra (300 K), muestra su máximo para una longitud de onda de 9.7 micras, que se encuentra situado en la región infrarrojo térmico del espectro que como ya comentamos, está relacionada con el calor terrestre. Esta energía no puede ser vista ni fotografiada pero si puede ser detectada por dispositivos térmicos tales como radiómetros o scanners. Para poder observar con nuestros ojos los cuerpos naturales que existen en la tierra necesitamos que el Sol esté presente como fuente de iluminación, de manera que la energía solar reflejada pueda ser detectada por nosotros o sensores con bandas espectrales situadas en el visible. En general podemos definir una línea hipotética para dividir las longitudes de onda reflejadas de las emitidas por la superficie terrestre entorno a las 3 micras, si bien sólo podemos hablar de un predominio de uno u otro tipo ya que en todas las regiones encontramos ambas contribuciones. Un ejemplo lo encontramos cuando intentamos extraer información de la superficie terrestre con el canal 3AVHRR en horas diurnas, en este caso no sólo estamos midiendo la energía emitida por los cuerpos terrestres a esa longitud de onda (3.7 micras) sino que también estamos detectando en el sensor la energía solar reflejada por los mismos en esa misma banda espectral, por lo tanto la lectura queda "contaminada" y no se corresponde solamente con la emisión del cuerpo.



2.4.2. Reflexión en la superficie terrestre: espectro solar

Cuando la energía electromagnética incide sobre los cuerpos situados en la superficie terrestre, E_I , esta puede descomponerse en tres términos: uno de reflexión, E_R , de absorción, E_A y otro de transmisión E_T . Así pues, aplicando el principio de conservación de la energía podemos establecer la relación existente entre estas tres interacciones de la energía:

$$E_I(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda) \quad (1.7)$$

Donde E_R denota la reflejada, E_A la absorbida y E_T la transmitida, siendo todas dependientes de la longitud de onda.



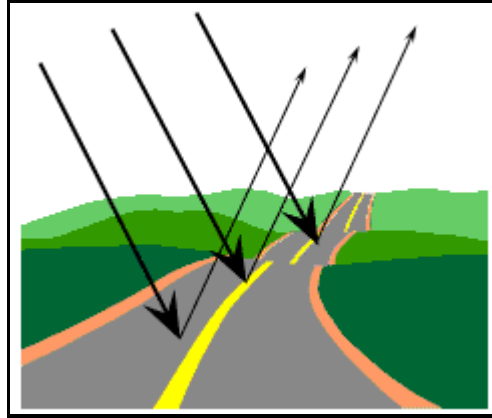
A partir de 1.7 podemos extraer dos conclusiones:

- 1) Las proporciones de E_R , E_A y E_T variarán de acuerdo con los diferentes cuerpos de la superficie terrestre dependiendo del tipo de material y condición. Estas diferencias nos permitirán discriminar unos objetos de otros en las imágenes.
- 2) La dependencia con la longitud de onda significa que aún dentro de un solo cuerpo natural determinado, las proporciones de (1.7) variarán a las diferentes longitudes de onda. Así, dos cuerpos pueden llegar a ser indistinguibles en un rango espectral y totalmente diferentes en otras longitudes de onda. Dentro del espectro visible estas diferencias espectrales se traducen en el efecto visual denominado color.

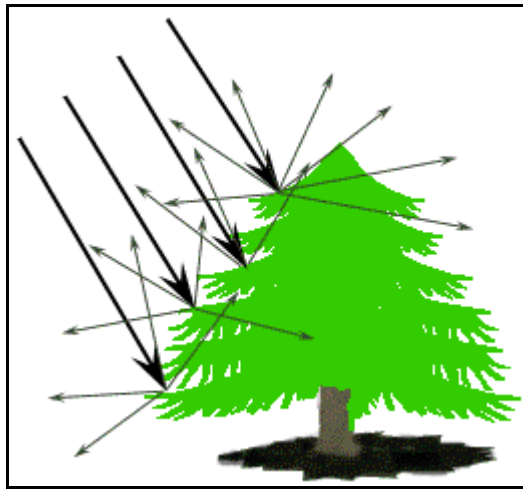


La forma geométrica o geometría, en la cual un objeto refleja energía es también una consideración importante. Este factor es principalmente una función de la rugosidad de la superficie. Así podemos distinguir entre:

a) **Reflectores especulares.**- Son superficies planas que manifiestan la reflexión como un espejo, tal que el ángulo de reflexión es igual al de incidencia.



b) **Reflectores difusos o lambertianos.**- Superficies rugosas que reflejan infinitamente en todas las direcciones.





La mayor parte de las superficies naturales no son reflectores especulares ni difusos, sino una mezcla de ambos. Para clasificar o diferenciar unos reflectores de otros es necesario comparar la rugosidad de la superficie con la longitud de onda de la energía incidente. Así, en la región visible diremos que las superficies suaves como agua en calma o metales pulidos son reflectores especulares ya que la rugosidad de estas superficies es mucho menor que las longitudes de onda usadas.

En el caso contrario, cuando la rugosidad es mucho mayor que la longitud de onda (mar con viento mayor de 10 m/s) la superficie reflejará como un cuerpo lambertiano.

Las reflexiones difusas contienen información espectral sobre el color de la superficie reflectante, mientras que las reflexiones especulares no. Así, en teledetección estamos más interesados en medir las propiedades de reflectividad difusa de los cuerpos terrestres.

2.4.3. Curva de reflectividad espectral.

Las características de reflectividad de las superficies terrestres se pueden cuantificar midiendo la porción de energía incidente que es reflejada. A esta proporción se le denomina reflectividad espectral, ρ , ya que es función de la longitud de onda:

$$\rho_{\lambda} = E_R(\lambda) / E_I(\lambda) \quad (1.8)$$

Se denomina curva de reflectividad espectral al gráfico de la reflectividad espectral frente a la longitud de onda. La configuración de estas curvas nos permite extraer las características espectrales de un objeto y tiene una gran influencia sobre la elección de la región espectral en la cual los datos de teledetección se deben adquirir para una aplicación particular.

2.4.4. Reflectividad espectral de la vegetación, suelo y agua.

Vegetación.- Las curvas de reflectividad espectral para la vegetación casi siempre manifiestan los picos-valles que se muestran en la figura (promedio). Los valles en la región del visible vienen dados por los pigmentos en las hojas de las plantas. La clorofila por ejemplo absorbe energía fuertemente en las bandas centradas en 0.45 y 0.67 μm . Es por ello por lo que nuestros ojos perciben la vegetación sana con color verde, debido a la gran absorción en azul y rojo por las hojas y la alta reflexión en el verde. Cuando la vegetación no está sana disminuye la clorofila y el resultado es una absorción en el rojo y el azul, a menudo incrementando la reflectividad espectral en el rojo por lo que vemos las hojas con tono amarillento (mezcla de verde y rojo). Al llegar al IR próximo la reflectividad de la vegetación sana aumenta drásticamente. La región 0.7-1.3 μm refleja entre el 40 – 50% de la energía incidente, el resto de la energía es casi toda transmitida, ya que en esta región la absorción es menor que el 5%. La reflectividad de 0.7 a 1.3 μm se debe a la estructura interna de las hojas.

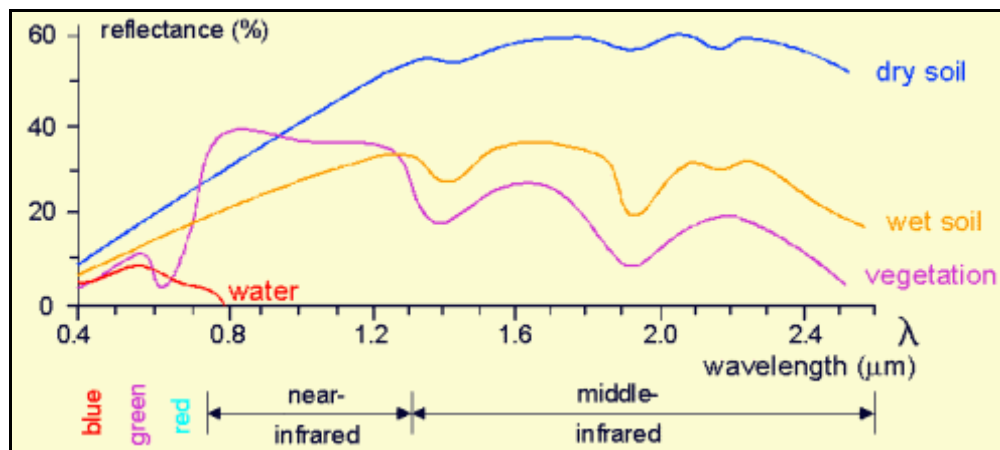
Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

*Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara*



Como estas son distintas nos permite diferenciar los tipos de vegetación, aunque en el visible sean muy similares.

Esta región también sirve para detectar estrés en la vegetación más allá de $1.3 \mu\text{m}$, la reflectividad de las hojas es aproximadamente inversamente proporcional al contenido del agua total presente en las hojas.



Suelo.- Casi sin variación espectral, los principales factores que afectan a la reflectividad espectral de los suelos son: humedad, textura (proporción de arena), rugosidad, presencia de óxidos de hierro y materia orgánica. Por ejemplo, la presencia de humedad hace decrecer la reflectividad espectral, al igual que la rugosidad, materia orgánica y la presencia de óxidos de hierro, estos últimos principalmente en el visible.

Agua.- Esta transmite la mayor parte de la energía visible que incide en ella, absorbiendo más cuanto mayor es la longitud de onda de la radiación incidente. La mayor reflectividad del agua clara está entorno al azul, disminuyendo cuando se alcanza el infrarrojo próximo. De ahí la facilidad a estas longitudes de onda de distinguir la línea de la costa.

La variabilidad del agua se detecta mejor en longitudes de onda más cortas (azul y verde) y está relacionada con la profundidad, el contenido de materiales en suspensión (clorofila, nutrientes) y rugosidad de la superficie. Así, la reflectividad espectral aumenta en aguas poco profundas.

Nieve.- La elevada reflectividad espectral de la nieve en el visible se reduce drásticamente en el infrarrojo cercano. La reflectividad espectral es inversamente proporcional al tamaño de los cristales de hielo.



2.4.5. Emisión térmica de los cuerpos naturales

2.4.5.1. Temperatura radiativa de un cuerpo

Normalmente uno relaciona la medida de temperatura con un instrumento en contacto con un cuerpo determinado al que se le quiere medir la temperatura. En realidad, lo que se está haciendo es medir la temperatura cinética que es una manifestación interna de la energía de traslación promedio de las moléculas del cuerpo. Sin embargo, los cuerpos radian energía en función de su temperatura. Esta energía emitida es una manifestación externa del estado de energía de dicho cuerpo, que puede ser detectado mediante técnicas de teledetección y usado para determinar la temperatura radiativa del cuerpo.

Un objeto que emite el máximo posible de energía para su temperatura se conoce como Cuerpo Negro. En la práctica las superficies emiten menos energía que un Cuerpo Negro, ya que éstos no existen.

Los cuerpos de la superficie terrestre emiten radiación principalmente en las longitudes de onda del infrarrojo térmico ($3 - 14 \mu\text{m}$). Las películas fotográficas sólo son sensibles hasta el infrarrojo cercano y no están relacionadas con la temperatura a excepción de cuerpos muy calientes (Ej. lava a 1.100°C tiene pico de emisión a $2.1\mu\text{m}$). Así pues, sólo detectores electrónicos permitirán medir esta radiación.

Anteriormente hemos visto las leyes fundamentales de la radiación que involucran a la temperatura, y hemos definido lo que es un cuerpo negro, para el que se definen esas leyes. Sin embargo, los materiales reales no son cuerpos negros, éstos emiten sólo una fracción de la energía emitida por un cuerpo negro a una temperatura equivalente. Es necesario por tanto introducir la definición de una característica propia de cada cuerpo, que relaciona su capacidad de emitir comparada con la del cuerpo negro.



2.4.5.2. Emisividad espectral (ϵ)

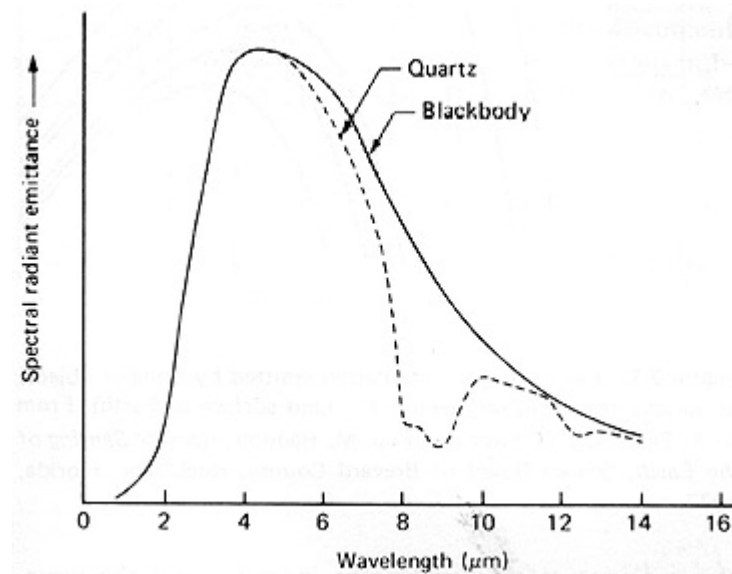
Es un factor que describe la eficiencia de radiar energía de un objeto en comparación con la de un cuerpo negro a su misma temperatura.

$$\epsilon(\lambda) = \frac{\text{*Emitancia radiativa de un cuerpo a la temperatura T}}{\text{*Emitancia radiativa de un cuerpo negro a la temperatura T}} \quad (1.9)$$

ϵ puede tomar valores entre 0 y 1, y depende de la longitud de onda y del ángulo de observación.

* (La emitancia es el total de energía radiada en todas las direcciones desde una unidad área y por unidad de tiempo (W/m²).)

Un cuerpo gris es aquel que tiene una emisividad espectral menor que uno, pero constante a todas las longitudes de onda. Los cuerpos naturales suelen variar su emisividad con la longitud de onda y es por lo que se les denomina radiadores selectivos.



La región espectral donde se manifiesta con mayor claridad la emitancia espectral de los cuerpos o fenómenos que se producen en la superficie terrestre va de las 8 hasta las 14 μm , entorno al pico de 9.7 μm de emisión máxima de la Tierra a una temperatura promedio de 300K. Las emisividades de los cuerpos son muy diferentes dentro de esta banda, pero la mayor parte de ellos pueden ser considerados como cuerpos grises en este intervalo.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Figura 8. Algunas Emisividades.

Material	ϵ (8 – 14 μm)
Piel humana	0.98
Agua de mar	0.98 - 0.99
Agua destilada	0.96
Vegetación	0.91
Arena	0.91
Suelo seco	0.92
Suelo húmedo	0.95
Nieve	0.80

2.4.5.3. Interacción de la radiación térmica con los cuerpos terrestres.

Atendiendo a la expresión que relaciona las tres interacciones de la energía:

$$E_I(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda)$$

Si dividimos por la energía incidente $E_I(\lambda)$ obtendremos:

$$1 = \alpha(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) \quad (1.10)$$

Donde α es absorción (E_A / E_I) y τ es la transmisividad (E_T / E_I).

Teniendo en cuenta la **ley de Kirchhoff** que establece que la emisividad espectral de un objeto es igual a la absorción espectral $\epsilon(\lambda) = \alpha(\lambda)$, implica que buenos absorbedores es equivalente a buenos emisores. Entonces:

$$1 = \epsilon(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) \quad (1.11)$$

Como en la mayor parte de las aplicaciones en teledetección los objetos se suponen opacos a la radiación térmica, esto es, $\tau(\lambda) = 0$. Con lo que tenemos:

$$1 = \epsilon(\lambda) + \rho(\lambda) \quad (1.12)$$

Esta expresión muestra la relación directa entre la emisividad y reflectividad de un cuerpo en el infrarrojo térmico, tal que a mayor reflectividad menor emisividad, (Ej. Nieve) y a menor reflectividad mayor emisividad (Ej. Mar). La emisividad de un objeto tiene una implicación fundamental cuando medimos su temperatura radiativa.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Recomponiendo la **ley de Stefan-Boltzman** para cuerpos distintos de los cuerpos negros:

$$M = \epsilon \sigma T^4 \quad (1.13)$$

Donde M es la energía radiante de un cuerpo, ϵ es la emisividad (valor entre 0 y 1), σ es la constante de Stefan Boltzmann ($5.6697 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$) y T es la temperatura absoluta del objeto.

Ésta describe la relación existente entre la señal medida por un sensor térmico, M y los parámetros T y ϵ . Nótese que cuerpos a la misma temperatura pueden tener emitancias radiativas totalmente diferentes. De ahí la necesidad de conocer correctamente la emisividad para poder dar la temperatura de los diferentes cuerpos.

2.4.5.4. Resumen de conceptos.

La termografía es un método de medición pasivo, sin contacto. La imagen termográfica muestra la distribución de temperatura en la superficie de un objeto, por lo que no se debe utilizar una cámara termográfica para “mirar” el interior o a través de los objetos.

La radiación registrada por la cámara termográfica consiste en la radiación de onda larga, **emitida**, **reflejada** y **trasmitida** que surge de los objetos presentes en el campo de visión de la cámara.

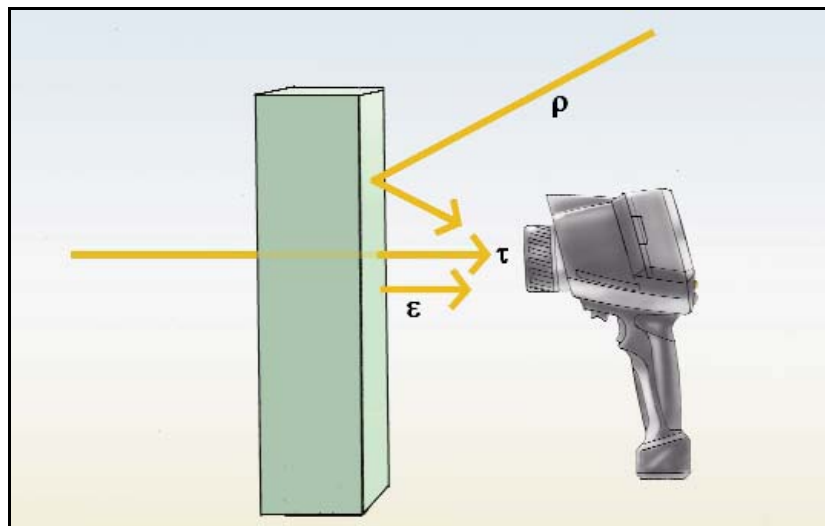


Figura 9. Emisión, reflexión y transmisión.

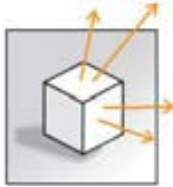
Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



A continuación se explican las diferentes formas en las que nos podemos encontrar estas radiaciones de onda:

Emisividad (ϵ)



La emisividad es la medida de la capacidad de un material para emitir (propagar) radiación infrarroja.

La ϵ varía según las propiedades de la superficie, el material, y, (para algunos materiales) según la temperatura del objeto medido.

La emisividad máxima es cuando es igual a 1, en la realidad este caso no se da, por lo que entenderemos que todos los cuerpos reales, $\epsilon < 1$, ya que estos cuerpos también reflejan y algunos incluso transmiten radiación.

Un objeto que emite el máximo posible de energía para su temperatura se conoce como Cuerpo Negro. En la práctica las superficies emiten menos energía que un Cuerpo Negro, ya que éstos no existen.

La emisividad de un objeto se define como el cociente entre la radiación emitida por un objeto a una temperatura determinada y la radiación emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura.

Los valores de emisividad varían de un material a otro en función de características como la textura de su superficie, o la reflectividad. Un material altamente reflectante es un pobre emisor de energía infrarroja, por lo que tiene un valor de emisividad bajo. Sin embargo, para un objeto opaco sucede lo contrario.

Un objeto de baja emisividad con la misma temperatura que otro de alta emisividad parecería más frío visualmente. Esto produciría un error en la medida de temperatura, la cual no puede determinarse midiendo la energía infrarroja que emite, sino que también debe conocerse el valor de emisividad del objeto.

Un aspecto a tener en cuenta a la hora de medir materiales brillantes (metales, vidrios, pétreos pulidos...) es su baja emisividad, la cual fluctúa con la temperatura.

Para evitar este fenómeno hay que tomar precauciones que aumenten su emisividad como puede ser envejecer o ensuciar previamente el elemento a estudiar.



A continuación se muestra una tabla con valores de emisividad de distintos materiales.

Material	Emisividad
Acero brillante	0.18
Acero oxidado	0.85
Latón brillante	0.10
Latón oxidado	0.61
Aluminio brillante	0.05
Aluminio oxidado	0.30
Cemento	0.90
Asfalto	0.90
Ladrillo Rojo	0.93
Grafito	0.85
Cloth	0.85

Figura 10. Valores de emisividad de distintos materiales.

Existen distintas formas de obtener el valor de emisividad de un objeto:

1) Consultar manuales de los fabricantes (asegurarse que han sido evaluados a la longitud de onda de trabajo de su Cámara de Termografía, ya que la emisividad puede variar con la longitud de onda).

2) Evaluar la emisividad del objeto mediante un método de laboratorio.

Hay dos métodos principales para solucionar el problema de la emisividad.

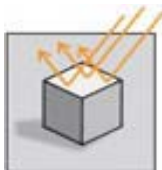
a) Corregir matemáticamente el valor de temperatura medido. Generalmente se realiza en la señal del procesador de la Cámara de Termografía. La mayoría de las cámaras actuales tienen un ajuste de compensación que el operador puede ajustar.

b) Podría pintarse la superficie de un objeto de baja emisividad con un recubrimiento de emisividad alta y constante. Esto permite elevar el valor de emisividad, pero no siempre es posible.

Cuando se realizan las inspecciones termográficas, los fallos generalmente se identifican por comparación de temperatura de los componentes similares en las mismas condiciones. Es una alternativa muy precisa para predecir la emisividad de cada componente y obtener unos valores de temperatura absolutas.



Reflexión (ρ)



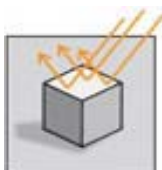
La reflexión es la medida de la capacidad de un objeto a reflejar la radiación infrarroja. Ésta depende de las propiedades de la superficie, la temperatura y el tipo de material. Por lo general las superficies lisas y pulidas reflejan mucho mas que las irregulares y sin pulir del mismo

material.

En muchas ocasiones la temperatura de la radiación infrarroja reflejada se suele corresponder con la temperatura ambiente.

El ángulo de reflexión de la radiación infrarroja reflejada es siempre el mismo que el ángulo de incidencia por lo que se debe medir las superficies lisas desde diferentes ángulos y direcciones para determinar que irregularidades en la distribución de temperatura son atribuibles a la reflexión y cuales al objeto que se mide.

Transmisión (τ)



La transmisión es la medida de la capacidad de un material de transmitir (permitir el paso) de la radiación infrarroja.

La τ depende del tipo y grosor del material. Muchos materiales son no transmisivos, es decir, impermeables a la radiación infrarroja de onda larga.

Por tanto, la radiación infrarroja registrada por las cámaras termográficas consiste en:

- La radiación emitida por el objeto medido.
- La reflexión de la radiación ambiente.
- La transmisión de la radiación del objeto medido.

El resultado de la suma de estos tres valores es siempre igual a 1

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1$$

Dado que en la práctica la transmisión juega un papel inapreciable, la variable τ se omite en la formula quedando así:

$$\varepsilon + \rho = 1 \quad [\text{Ley de radiación de Kirchhoff}]$$

En termografía esto quiere decir que a menor emisividad mayor proporción de radiación infrarroja reflejada, mayor dificultad en la toma de mediciones precisas de temperatura y mayor importancia adquiere la configuración correcta de la compensación de la temperatura reflejada.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Capítulo 3. Obtención de Imágenes Termográficas

3.1. Procedimientos de obtención

Como ya se ha explicado la termografía es un método de ensayo no destructivo que permite detectar y medir variaciones de temperatura emitidas por un cuerpo, transformándolas en imágenes visibles. El tema que nos ocupa ahora es la obtención de dichas imágenes.

Existen varias técnicas para detectar discontinuidades utilizando termografía infrarroja. La diferencia entre los métodos se basa, principalmente, en cómo la energía calorífica se transfiere al componente en cuestión. Estos métodos se pueden clasificar en termografía pasiva, activa o vibrotermografía. La elección de un determinado método depende de varios factores, incluyendo las características térmicas del cuerpo que se está inspeccionando; del tipo, tamaño y orientación del defecto a localizar; de la forma en la que el calor se induce en el cuerpo; de la sensibilidad y resolución espacial de las imágenes infrarrojas; y de las restricciones presupuestarias.

3.1.1. Termografía pasiva

La termografía infrarroja (TIR) pasiva se refiere a aquellos casos en los que no se usa ninguna estimulación de calentamiento o enfriamiento externo para provocar un flujo de calor en el cuerpo inspeccionado. El objeto estudiado produce un patrón de temperaturas típico por el hecho de estar involucrado en un proceso (industrial) que produce calor. Unos pocos grados de diferencia respecto a la temperatura normal de trabajo (referencia) del objeto muestra un comportamiento inusual. La termografía es capaz de capturar esta información de temperatura en tiempo real desde una distancia segura sin ninguna interacción con el objeto.

La TIR pasiva se usa, por ejemplo, para la monitorización del producto en procesos de fabricación, monitorización de procesos de soldadura o comprobación de la eficiencia de los discos de freno de automóviles. También puede ser usada en mantenimiento predictivo, como en rodamientos, turbinas y compresores, instalaciones eléctricas, tuberías enterradas o fugas de gas. Existen otras muchas aplicaciones no industriales como son las de tipo medicinal en detección de cáncer de pecho o desordenes vasculares, detección de fuegos, detección de objetivos (militar) o localización de pérdidas de calor y humedades en edificios.



3.1.2. Termografía activa

La termografía activa requiere de una estimulación externa de la pieza a inspeccionar para provocar un flujo de calor en dicha pieza. Un defecto interno puede alterar ese flujo, provocando una distribución anómala de la temperatura.

Existen diferentes técnicas de termografía activa en función de cómo se realiza el calentamiento o enfriamiento externo de la pieza a inspeccionar:

3.1.2.1. Termografía Activa Pulsada (PT)

En la termografía pulsada (PT), la superficie de la muestra se somete a un pulso de calor corto utilizando una fuente de energía alta, como por ejemplo flashes fotográficos, ver Figura 11. La duración del pulso puede variar desde unos pocos milisegundos (2-15 ms) o de varios segundos dependiendo de las propiedades termofísicas de la muestra y de la discontinuidad.

Después de que el frente térmico se pone en contacto con la superficie de la muestra, viaja desde la superficie a través de ella. A medida que transcurre el tiempo, las zonas afectadas aparecerán con una temperatura más alta o más baja con respecto a zonas no defectuosas de la superficie, dependiendo de las propiedades térmicas tanto de la materia como de la discontinuidad. A la evolución de la temperatura en la superficie se le somete a un seguimiento en régimen transitorio utilizando una cámara infrarroja. Se necesita una unidad de sincronización para controlar el tiempo entre el lanzamiento del pulso térmico y la grabación con la cámara infrarroja.

La solución unidimensional de la ecuación de Fourier para una función delta de Dirac en un sólido semi-infinito isotrópico está dada por (1):

$$T(z, t) = T_0 + \frac{Q}{\sqrt{k\rho c_F \pi t}} \exp\left(-\frac{z^2}{4\alpha t}\right)$$

Dónde Q es la energía absorbida por la superficie en [J/m²] y T₀ es la temperatura inicial medida en [K].

En la superficie (z=0) la ecuación 1 se puede escribir de la siguiente forma (2):

$$T(0, t) = T_0 + \frac{Q}{e\sqrt{\pi t}} \quad (2)$$

Dónde $e = (k\rho c_F)^{1/2}$ [W s^{1/2} m⁻² K⁻¹] que es la efusividad.

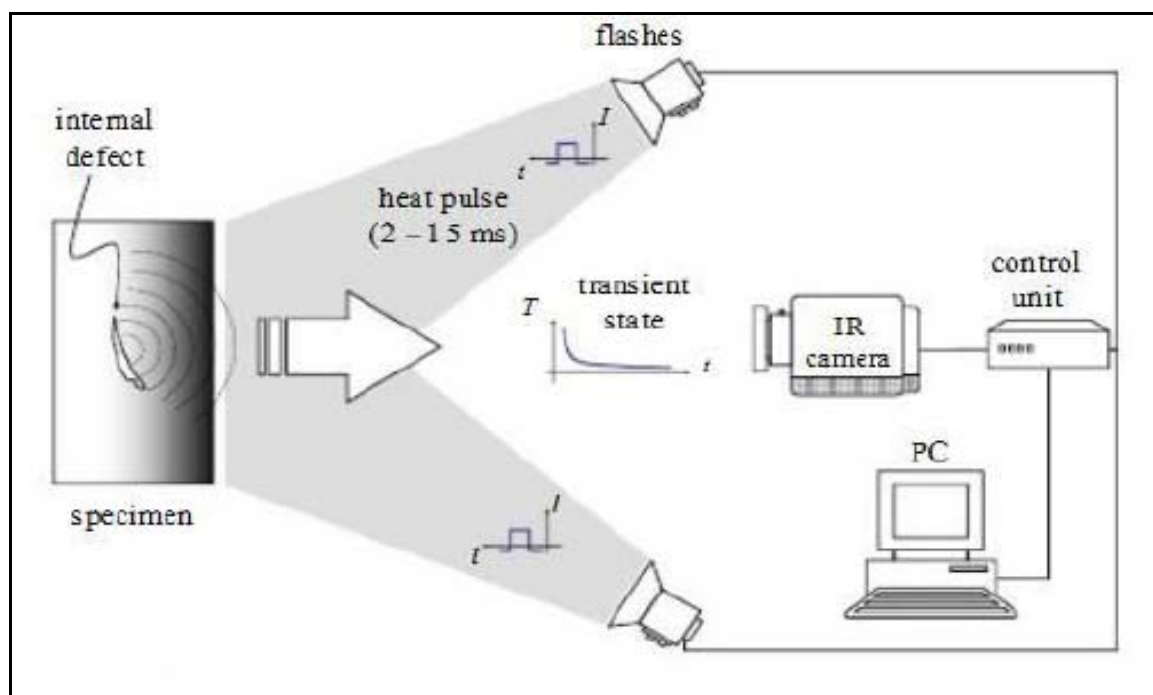


Figura 11. Representación esquemática de termografía activa pulsada.

La termografía pulsada se usa, por ejemplo, en la inspección de componentes estructurales de aviones, control de calidad de soldadura por puntos, álabes de turbina, detección de descolados, delaminaciones, grietas o corrosión.

3.1.2.2. Lock-in (LT)

En la termografía lock-in (LT), la superficie de la muestra es periódicamente iluminada por una o varias fuentes de calor modulada, por ejemplo, lámparas halógenas, para inyectar las ondas térmicas en la muestra. La onda periódica se propaga a través del aire hasta llegar a la superficie de la muestra donde el calor se produce propagándose por el material.

Las discontinuidades internas, que actúan como obstáculos para la propagación del calor, producen cambios en la amplitud y el desfase de la señal de respuesta en la superficie. Figura 12 muestra un experimento LT. Las lámparas envían ondas periódicas (sinusoides, por ejemplo) en una frecuencia modulada de por lo menos un ciclo hasta alcanzar el estado estacionario.

Se han desarrollado diferentes técnicas para extraer la información de amplitud y fase. El análisis de Fourier es la técnica preferida de procesamiento, ya que proporciona imágenes individuales, diagramas de amplitud o fase (la media ponderada de todas las imágenes en una secuencia).

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



La solución de la ley de Fourier unidimensional de una onda periódica térmica de multiplicación a través de un material homogéneo semi-infinito se puede expresar como (3):

$$T(z,t) = T_0 \exp\left(-\frac{z}{\mu}\right) \cos\left(\frac{2\pi z}{\lambda} - \omega t\right) \quad (3)$$

Dónde T_0 [°C] es el cambio de temperatura inicial producido por la fuente de calor, ω [rad/s] es la frecuencia de modulación ($\omega = 2\pi f$ siendo f la frecuencia medida en Hz), λ [m] es la longitud de onda y μ [m] es la longitud de difusión dada por:

$$\mu = \sqrt{\frac{2\alpha}{\omega}} = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi f}} \quad (4)$$

Dónde $\alpha = k/\rho C_p$ [m²/s] es la difusividad térmica, k [W/m°C] es la conductividad térmica, ρ [kg/m³] es la densidad, C_p [J/kg°C] es el calor específico y f la frecuencia de modulación de la onda térmica.

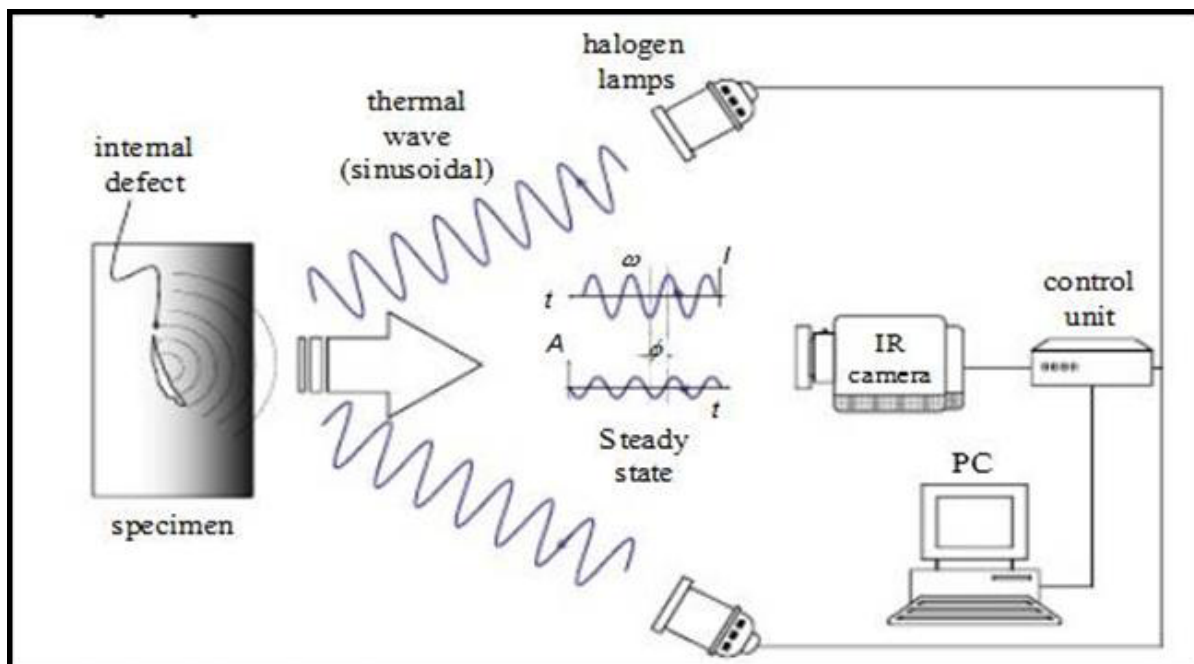


Figura 12. Representación esquemática de lock-in.



La termografía lock-in se usa, por ejemplo, en inspecciones de componentes estructurales, detección de remaches sueltos, investigación de estructuras de absorción de radar y detección de grietas, descolados, etc.

3.1.2.3. Pulso Largo (ST)

Esta técnica consiste en calentar el objeto o la pieza a inspeccionar a baja potencia y de forma continua, monitorizando el incremento de temperatura de la superficie. Nuevamente, el frente térmico se propaga a través del material, pero en este caso es el tiempo que tarda la temperatura de un punto dado en separarse de evolución de la temperatura de una zona sana la que sirve de indicación de la profundidad de la heterogeneidad.

Aplicaciones de la termografía de pulso largo son, por ejemplo, la evaluación de espesores de recubrimientos y de uniones de recubrimiento a sustrato en estructuras compuestas y también la detección de corrosión oculta en el fuselaje de aviones.

3.1.2.4. Fase Pulsada

Es una mezcla entre la termografía activa pulsada y la termografía "lock-in". El ensayo se realiza de la misma forma que para la termografía activa pulsada pero el tratamiento de datos se realiza mediante transformada de Fourier. Se obtienen, por tanto, datos de la amplitud y de la fase de la imagen a diferentes frecuencias a partir de una serie de termogramas.

3.1.3. Vibrotermografía

La vibrotermografía es una técnica basada en la termografía lock-in. En lugar de realizar un calentamiento en la muestra a inspeccionar mediante lámparas de luz modulada, usa una vibración mecánica inducida externamente. Se utiliza para el mantenimiento de la calidad en el sector aeroespacial y la industria del automóvil vigilando la integridad de las características de la superficie o del subsuelo, que la termografía END convencional no puede detectar.

La vibrotermografía permite obtener imágenes mediante ondas térmicas que se generan por el sonido elástico o las ondas ultrasónicas. El mecanismo involucrado es la fricción local o de histéresis que convierte una discontinuidad de carga dinámico en una fuente de calor, que se identifica mediante un sistema de termografía.

En la Figura 13 se muestra una representación esquemática de este método. La presencia de una grieta provoca un aumento de la temperatura en la superficie cerca de la grieta. El aumento de la temperatura se mide con una cámara de alta sensibilidad infrarroja que obtiene imágenes a partir de un amplio campo de visión. Este método cubre un área grande partiendo de una sola posición dónde se produce la excitación, por lo que es mucho más rápido que la inspección convencional de corriente ultrasónica o remolino que requiere escanear toda la superficie. También puede ser una técnica de inspección conveniente y fiable para las estructuras con geometrías complejas que son difíciles de inspeccionar por métodos convencionales.

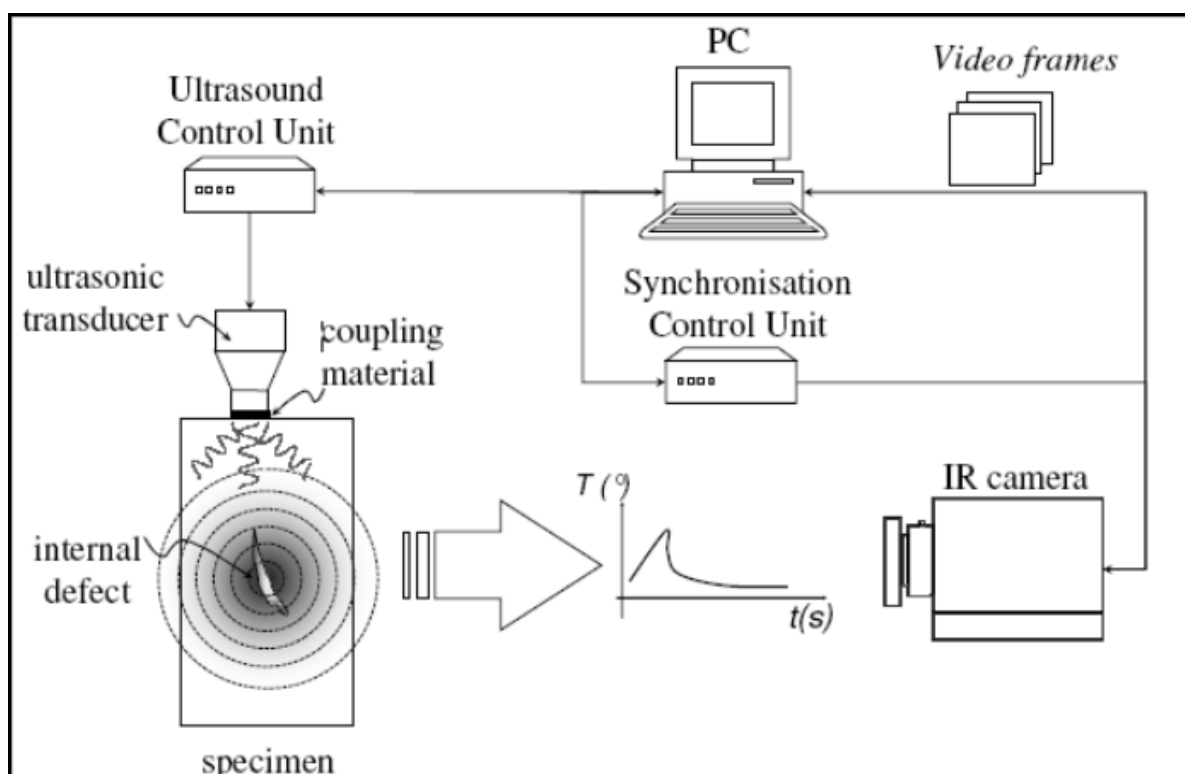


Figura 13. Representación esquemática de vibrotermografía.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



3.2. Hardware y software asociado

3.2.1. Cámaras Termográficas

Las cámaras termográficas son equipos que perciben la emisión natural de radiación infrarroja procedente de un objeto caliente detectado, y producen una imagen visible para el ojo humano. Esta imagen puede ser monocromática o coloreada en caso de ser una cámara que se usa exclusivamente para medir temperaturas.

Las imágenes monocromáticas muestran las áreas más calientes de un cuerpo en blanco y las más frías en negro, con distintos niveles de grises para los grados de temperatura entre los límites térmicos.

En el caso de las imágenes en color, las imágenes son procesadas por la cámara para que la imagen monocromática inicial sea coloreada. De esta manera son más fáciles de interpretar con la vista. Pero esos colores no corresponden a la radiación infrarroja percibida, sino que la cámara los asigna arbitrariamente, de acuerdo al rango de intensidad de particular longitud de onda infrarroja, por eso se llaman *falsos colores*. La mayoría de las cámaras operan con un rango de $3\mu\text{m}$ y $14\mu\text{m}$ de onda en la zona del infrarrojo térmico.

Toda cámara termográfica, necesita un control en la corrección de las magnitudes de medición, por lo cual es necesario hacer periódicamente alguna calibración o determinación de la desviación sistemática del indicador con respecto al valor real de la magnitud de medida.

3.2.1.1. Cámaras con detectores criogenizados

Los detectores están contenidos en un estuche sellado al vacío y enfriado muchos grados bajo cero Celsius por un voluminoso y costoso equipo criogénico. Esto aumenta enormemente su sensibilidad con respecto a los *detectores al ambiente*, debido a su gran diferencia de temperatura con respecto al cuerpo emisor detectado. Si el detector no fuera enfriado criogénicamente, la temperatura ambiental del detector interferiría en las lecturas de temperatura recibidas por el detector. Las desventajas de los detectores criogenizados son:

- Su alto consumo de energía para enfriar.
- El alto costo para fabricar y sellar al vacío los estuches.
- Varios minutos para enfriar el sensor del detector a la temperatura óptima de operación.



3.2.1.2. Cámaras con detectores al ambiente

Éstos operan a la temperatura ambiental. Los más modernos usan sensores que funcionan cambiando las propiedades eléctricas del material del cuerpo emisor. Estos cambios (de corriente, voltaje o resistencia) son medidos y comparados a los valores de temperatura de operación del sensor. Los sensores pueden estabilizarse a una temperatura de operación, por encima de los cero celsius, para reducir las interferencias de percepción de imagen, y es por eso que no requiere equipos de enfriamiento. Las ventajas de estos detectores son:

- Su menor costo con respecto a los criogenizados.
- Menor tamaño.

Pero sus desventajas:

- Mucho menos sensibilidad y menos resolución que los criogenizados.

3.2.1.3. Cámaras infrarrojas activas

Emiten radiación infrarroja con un reflector integrado a la cámara o ubicado en otro sitio. El haz infrarrojo alumbró el cuerpo detectado; y el alumbramiento es emitido por el cuerpo para ser percibido por la cámara e interpretado en una imagen monocromática.

El reflector tiene un filtro para prevenir que la cámara sea interferida por la observación de la luz visible. Si el reflector tiene mayor alcance mayor será el tamaño y el peso de su filtro y, mayor será el tamaño de la batería porque aumenta su consumo de energía. Por eso la mayoría de las cámaras activas portátiles tienen un reflector con alcance de 100 metros, pero algunos fabricantes exageran el alcance de las cámaras a varios cientos de metros.

3.2.1.4. Cámaras infrarrojas pasivas

También se llaman *cámaras termográficas*. Carecen de reflectores, y perciben la radiación infrarroja tal cual, emitida por un cuerpo. No miran cuerpos a la misma temperatura del detector, por eso se enfrían criogénicamente a temperaturas de 200°C. Algunas de estas cámaras pueden tener sensibilidad a temperaturas de 0,01 °C. Estas cámaras se usan para rastrear gente en áreas donde es difícil verlos (tinieblas, humo o niebla), encontrar rastros recientes de alguien que ha dejado un lugar, seguir un coche en particular o ver rastros de humedad en ciertas superficies.



3.2.1.5. Otros tipos de cámaras

Las cámaras termográficas también pueden clasificarse de acuerdo al sistema de detector infrarrojo que utilicen. Según esto existen las cámaras piroeléctricas, que utilizan detectores térmicos, y las cámaras con detector fotónico. Estos detectores se estudiarán más adelante.

Otra forma de clasificación se basa en las longitudes de onda de la radiación que la cámara puede detectar:

- Cámaras de onda larga: Captan radiaciones térmicas con longitud de onda entre 8 y 14 μm , su rango máximo de temperaturas no sobrepasa los 500 $^{\circ}\text{C}$.
- Cámaras de onda corta: Captan radiaciones entre 2 y 5 μm y detectan temperaturas de hasta 1500 $^{\circ}\text{C}$.

3.2.2. Funcionamiento de una cámara termográfica

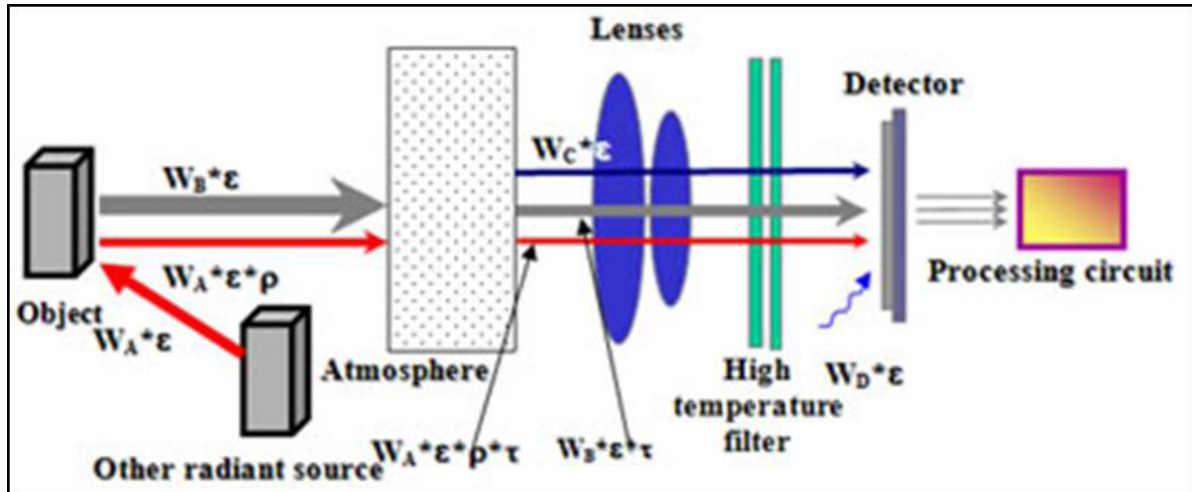


Figura 14. Representa Esquema detallado del proceso de captación de imágenes infrarrojas



Una cámara termográfica básica consta de:

- Un sistema óptico que puede formar una imagen utilizando radiación en el rango de longitud de onda térmica.
- Uno o más detectores que convierten la radiación termal en señales eléctricas proporcionales a la radiación que incide sobre ellas.
- Algunos sistemas requieren un mecanismo que escanee el campo de visión de la cámara, aunque las cámaras más modernas no lo necesitan ya que utilizan grandes arrays de detectores que cubren completamente el campo de visión.
- Un procesador electrónico capaz de convertir la señal eléctrica en una señal de video.
- Una pantalla que genere una imagen visual de la señal de video.

El esquema de la Figura 15 muestra el proceso que sigue la señal infrarroja desde el sistema óptico hasta el monitor.

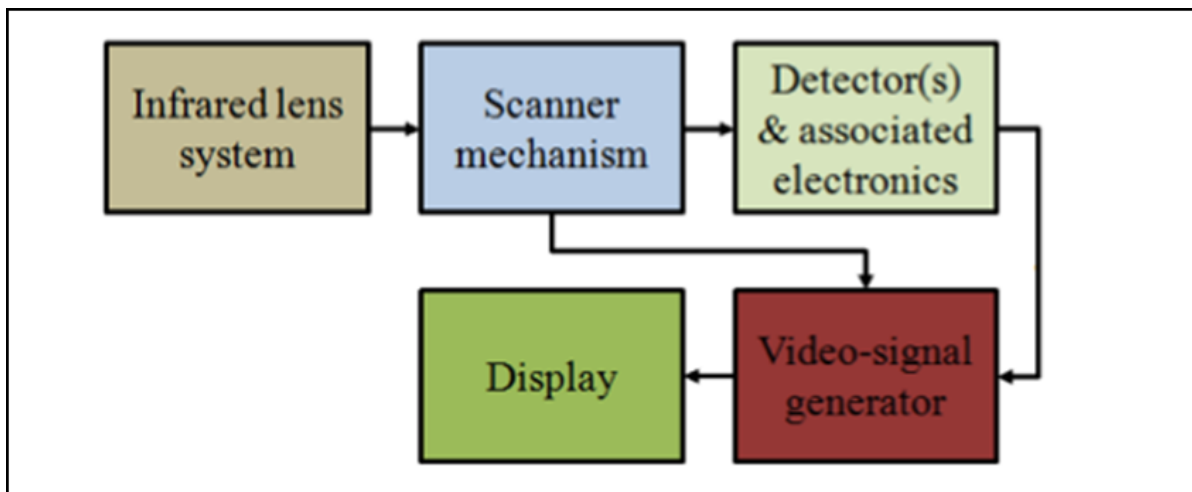


Figura 15. Camino de una señal infrarroja en un sistema de captación de imágenes infrarrojas.

3.2.2.1. Sistema óptico

El diseño del sistema óptico utilizado en un sistema de visualización de imágenes termográficas es igual al sistema óptico para longitudes de onda visibles. La principal diferencia es que los materiales usados en sistemas de radiaciones visibles son diferentes. De hecho, los materiales ópticos usados en la banda de 3-5 μm o en la banda de 8-14 μm son diferentes también.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



3.2.2.2. Detectores térmicos

El detector térmico o array de detectores es posiblemente la parte más importante de una cámara termográfica. Éste determina el nivel de potencial de la resolución térmica y espacial que se puede obtener, así como la complejidad requerida para desarrollar ese potencial.

Tipos de detectores:

Existen básicamente dos tipos de detectores infrarrojos. *El primero* depende de los fotones que inciden en forma de calor (radiación infrarroja), los cuales el detector absorbe, con el resultante incremento de temperatura del elemento sensor. Éste utiliza un termopar¹, instrumento que modifica su resistencia eléctrica con la temperatura, para convertir la energía térmica en una señal eléctrica. Para la generación de la señal, la cámara necesita la interrupción del haz de infrarrojo de forma continua, para ello utiliza un disco obturador.

Este tipo de detector es generalmente conocido como un *detector térmico*, y son bastante ineficientes y relativamente lentos como resultado del tiempo requerido para cambiar su temperatura.

El segundo tipo de detector no utiliza la energía del fotón en forma de calor, sino que la invierte en incrementar la energía de sus portadores de carga, con lo que se modifican las propiedades de conducción eléctrica de los sistemas detectores en función del flujo de fotones recibido. Este proceso de conversión implica la transformación de los fotones incidentes en electrones, que se ponen en movimiento para generar una corriente, que es la magnitud que realmente se puede medir. Este tipo de detector se conoce como **detector fotónico o cuántico**.

Image resolution	Pitch (μm)	Pricipals	IR Detector material	geometric MTF (mm^{-1})	Manufacturer
1 x 128	100	pyroelectric	LiTaO	0.6 to 3	DIAS Dresden
328 x 245	48.5	pyroelectric	BaSrTi	0.6 to 5	Texas Instruments (TI)
100 x 100	100	pyroelectric	PbSkTa	0.8 to 3	
384 x 288	40	pyroelectric	PbSkTa	0.8 to 5	GEC Marconi
336 x 240	50	Bolometer	VOx	0.9 to 5	Honeywell
327 x 245	46	Bolometer	VOx	0.9 to 5	Loral
128 x 128	100	Bolometer	p/n-Poly-Si	0.9 to 3	NEC
320 x 240	50	Micro-cantilaver	Bimetall TiWaufSiC	0.8 to 5	Sarcon Micro-system

Tabla 1. Características principales de diferentes tipos de detectores

¹ Termopar: es un sensor formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje (efecto Seebeck), que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" o unión caliente o de medida y el otro denominado "punto frío" o unión fría o de referencia.



La tabla 1 muestra diferentes tipos de detectores que se usan hoy en día. En ella se representa para cada detector su resolución de imagen, pitch², principios de detección, materiales, MTF geométrico y el fabricante del detector. Esta información es útil para la selección del tipo de detectores a usar en una cámara térmica, así como los siguientes factores a considerar:

- El rango de longitudes de onda al que responde.
- La respuesta en frecuencia.
- La sensibilidad térmica y la resolución espacial que se puede conseguir.
- La refrigeración requerida y su complejidad asociada, coste, y posibles inconvenientes.
- Fiabilidad y coste.

3.2.2.3. Mecanismo de escáner (barrido)

La función de un mecanismo de barrido es mover la imagen formada por el sistema de la lente sobre el elemento detector de una manera muy controlada. Existen tres disposiciones típicas para los sistemas de escáner. En la primera de ellas el escáner ocupa el espacio entre el sistema óptico y el detector. En la segunda disposición, el escáner está entre el objeto externo y el sistema óptico, y en la tercera, está colocado entre la parte delantera focal y la parte posterior del sistema óptico.

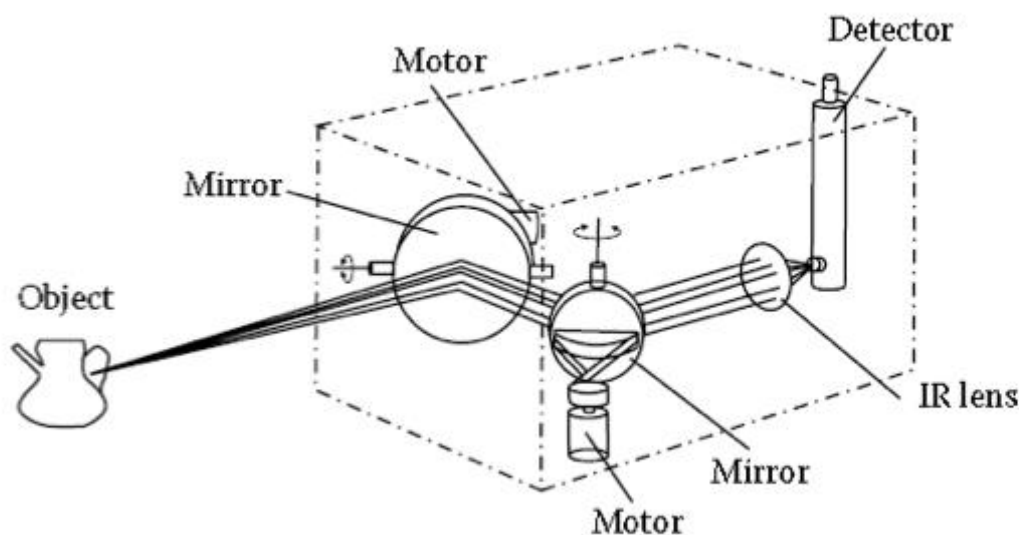


Figura 16. Mecanismo de escáner.

² Pitch: Se denomina pitch a la separación entre los centros de dos píxeles consecutivos. En el caso de que no haya separación entre píxeles, el pitch coincide con el tamaño de píxel.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



En la figura 16 se muestra un tipo de mecanismo para escanear la imagen infrarroja. Se trata de un esquema donde se ven dos espejos con sus respectivos motores y lentes infrarrojas junto con el detector al fondo. Los espejos con motor se utilizan para hacer un barrido de todo el campo de visión. El espejo izquierdo escanea el campo en vertical y el derecho en horizontal. Esta es una de las maneras en que las cámaras infrarrojas con un único detector de infrarrojo escanean el campo de visión.

3.2.2.4. Procesado de señal

La imagen térmica producida por el sistema óptico consistirá en un promedio muy alto de nivel de fondo, que corresponde a la radiación emitida por una superficie que está a temperatura ambiente, junto con desviaciones relativamente pequeñas de este nivel medio, que representa las diferencias de temperatura y emisividad entre los objetos en la escena.

Así, por ejemplo, la diferencia en la radiación recibida por una superficie a 18°C y una a 22°C en la banda de 8-12 m es sólo el 7% del total (fondo) de radiación en la misma banda de una superficie a 20 ° C. La señal de interés en la generación de la señal de vídeo para la salida de la cámara es la que corresponde a esta diferencia y no al nivel absoluto.

Para producir una imagen en falsos colores en la cámara, la señal infrarroja es procesada en diferentes pasos, como se muestra en la figura 17. En primer lugar, la señal se convierte de analógico a digital. El segundo paso es la compensación de la pinza de offset. A continuación se compensa la unidad de radiación por cámara para predecir la temperatura sabiendo el grado de emisión, la humedad del aire, la temperatura del aire y la distancia, (parámetros de calibración). En el siguiente paso se ajusta la temperatura de radiación, y finalmente antes de la visualización, se selecciona el rango de temperatura y falso color.

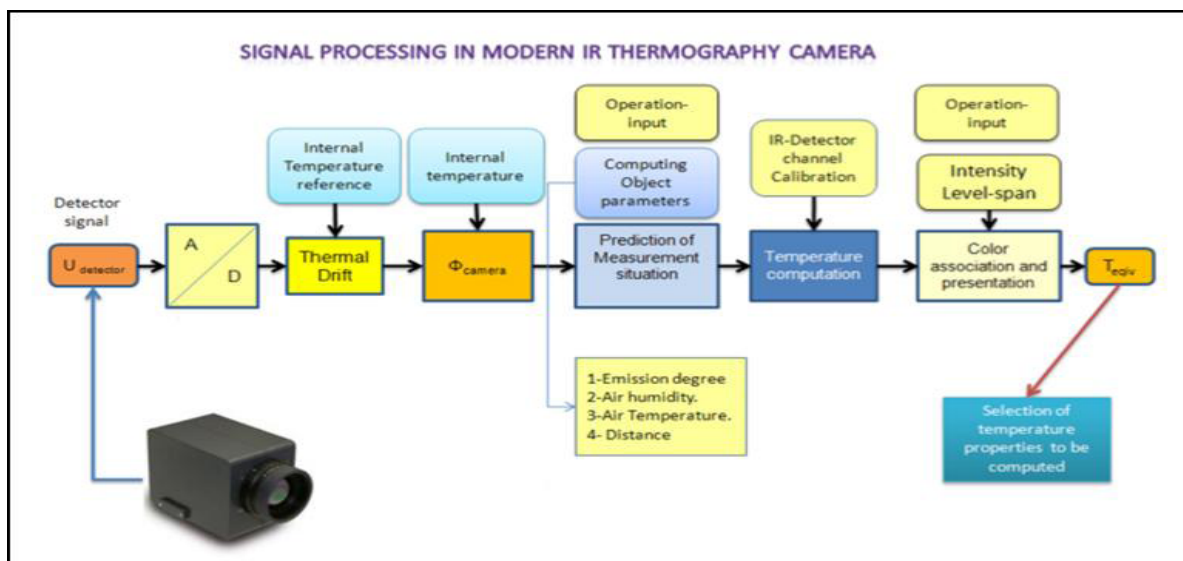


Figura 17. Procesado de señal en una cámara termográfica moderna.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



3.2.2.5. Monitor

La imagen generada por una cámara térmica es normalmente visualizada en un monitor externo separado, que podría ser una pantalla de ordenador o un pequeño monitor que forma parte de la cámara y está diseñado para ser observado directamente o a través de una óptica ocular. Las pequeñas pantallas planas de visión directa que son parte de la cámara son normalmente de cristal líquido (LCD). Estas pantallas pueden ser monocromáticas o en color. En último caso, las imágenes pueden ser codificadas con color para mostrar diferentes temperaturas con diferentes colores.

3.2.2.6. Resolución espacial

Un concepto muy importante a tener en cuenta a la hora de valorar una cámara de infrarrojos es la resolución espacial, pues este concepto define hasta qué distancia se podrán ver los objetos.

La resolución espacial es el campo de visión de los microsensores que forman parte del detector o microbolómetro.

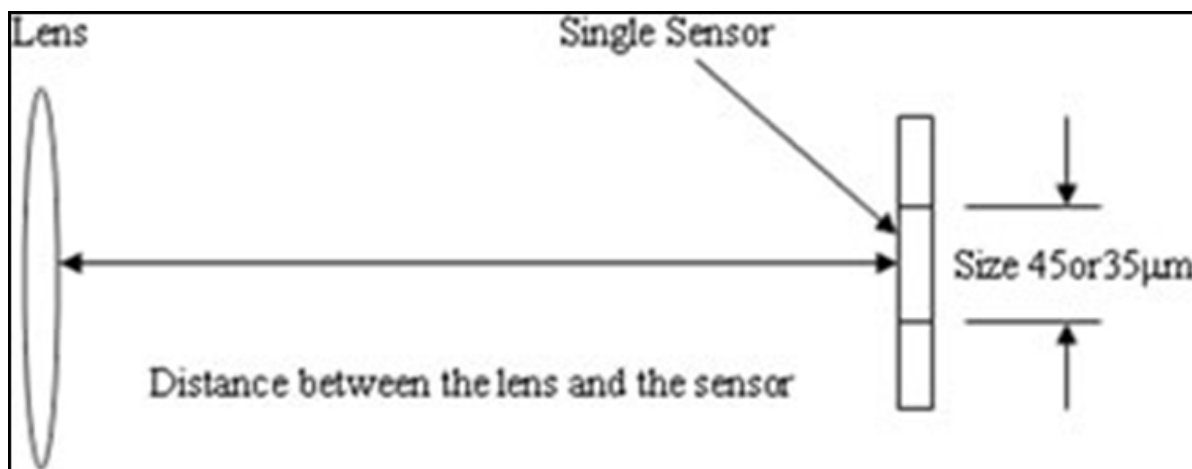


Figura 18. Resolución espacial.

Se define como la relación entre el tamaño del sensor y la distancia entre las lentes y el sensor, figura 18. Cuanto más baja sea la resolución espacial, a más distancia se podrá utilizar la cámara (o, para la misma distancia, se podrán visualizar objetos más pequeños).



En la figura 19 se aprecia la relación entre el tamaño de los objetos y la distancia a la cámara:

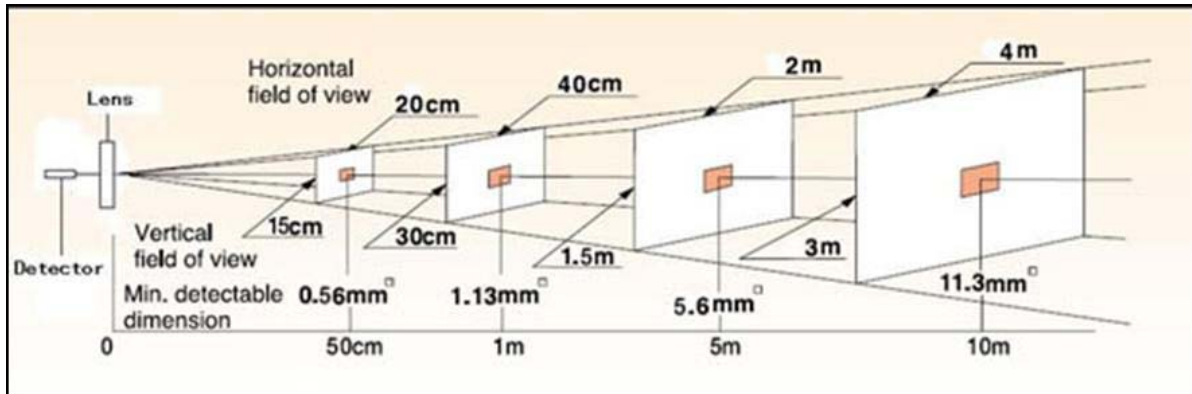


Figura 19. Relación entre el tamaño de los objetos y la distancia a la cámara.

3.2.2.7. Preparación del equipo

Una de las operaciones fundamentales previas al examen termográfico es la calibración del equipo utilizando una fuente de radiación o simulador de cuerpo negro. También es importante tener en cuenta funciones de corrección para incluir efectos ambientales, tales como la atenuación atmosférica (función de la distancia entre el equipo y la pieza a analizar) y la corrección debida a la emisividad. La calibración debe incluir el intervalo de temperaturas más amplio posible.

Otro aspecto que debe considerarse es que la zona observada por el visor de la cámara no tiene porqué coincidir exactamente con la zona espectral analizada por el sensor térmico. Un método para aumentar la precisión consiste en introducir lo más próxima posible a la pieza a medir, una referencia de emisividad conocida.

3.2.2.8. Parámetros que se deben controlar

Hay una serie de parámetros críticos que se deben controlar para conseguir un buen rendimiento en la medida termográfica:

- Resolución o sensibilidad térmica: para determinar la mínima diferencia de temperaturas que se puede medir.
- Resolución espacial de la imagen o campo de visión instantáneo.
- Medida de la resolución espacial, a través de una rendija normalizada.



La detectabilidad de anomalías tanto superficiales como internas suele ser descrita atendiendo a dos términos: el tamaño mínimo detectable (minimun detectable size, MDS) y la diferencia de temperaturas equivalente al ruido (noise equivalent temperature difference, NETD). Cuando el objetivo presenta un tamaño superior al tamaño mínimo detectable se puede determinar la temperatura del espécimen a partir de la radiación emitida por él. Sin embargo, cuando el objetivo presenta un tamaño inferior al tamaño mínimo detectable, la forma del objeto no puede ser discernida ya que la energía del entorno también entra en el detector como ruido. Claramente, este factor depende de la óptica utilizada, el tamaño del píxel del detector y la distancia a la que se produce la medida. La diferencia de temperaturas equivalente de ruido se define como el cambio de temperatura tal que la relación señal a ruido del sistema termográfico sea la unidad. Depende, igualmente, del tamaño de píxel del detector y del número F_3 de las ópticas. Sus valores están en torno a las centésimas de Kelvin. La dependencia de un sistema de los dos parámetros anteriores lleva a la mínima diferencia de temperaturas resoluble (minimun resolvable temperature difference, MRTD) que caracteriza los detectores o sistemas de inspección térmica definiendo la diferencia de temperatura más pequeña que un operador es capaz de discernir en una escena que recoge un patrón de barras sobre un fondo uniforme. A frecuencias espaciales bajas, la sensibilidad térmica definida por el NETD es lo más importante mientras que para frecuencias espaciales altas el factor dominante es la resolución espacial. La MRTD combina ambos factores en un único concepto. Con valores rondando las décimas de grado, tiene en cuenta tanto los efectos espaciales de la óptica como los parámetros del detector a través de la función transferencia de modulación del sistema (modulation transfer function, MTF) ⁴. Sin ser medidas absolutas de temperatura sino diferencias perceptibles relativas a un fondo determinado, simula la capacidad de un observador para apreciar bajos contrastes entre el ruido de las imágenes, en definitiva la detectabilidad en sistemas de percepción visual.

En un sistema termográfico, las imprecisiones en las medidas de temperatura pueden ser provocadas por errores en la evaluación de los parámetros que caracterizan la radiación infrarroja (base sobre la que se sustenta el sistema), por efecto del ruido inherente a todo sistema o por errores propios del aparato de medida (aberraciones en las lentes, respuestas de amplificación dependientes de la frecuencia, falta de focalización en el objetivo, refracciones de la apertura del iris, reflexiones internas en el equipo, difracción,...). Conocer sus orígenes y la forma de corregir sus efectos resulta esencial.

³ El número F , representa la relación focal de la lente o espejo correspondiente, esto es, la relación entre su distancia focal y su diámetro efectivo.

⁴ Todo sistema puede caracterizarse por su respuesta impulsional o su transformada de Fourier. La función de transferencia de un sistema óptico posee entonces una parte real (la MTF) y una parte imaginaria (la función transferencia de fase).



A modo de ejemplo, existen errores en la medida cuando se miden objetos a temperatura cercana a la temperatura ambiente porque la energía radiada detectada puede verse influenciada en mayor medida por la energía reflejada proveniente del entorno.

También afectan a la medida las variaciones de emisividad, reflexiones o la degradación del equipamiento tanto en su óptica como en su electrónica.

El término ruido involucra toda señal indeseada o espúrea en un sistema que genera un error en la medida afectando a su precisión, exactitud, repetitividad y resolución. Sus orígenes pueden ser muy variados clasificándose en aleatorio (no correlado) o correlado y sus efectos pueden ser aditivos o multiplicativos. Por lo general, el ruido aleatorio es de efecto aditivo, con origen en el sistema detector (ruido térmico o Johnson noise, ruido de fluctuación o flicker noise y ruido de disparo o shot noise) mientras que el ruido correlado (de patrón fijo, fixed noise) suele ser de efecto multiplicativo y con origen en las partes mecánica y óptica del sistema detector (encuadres, aberraciones de lentes, variaciones de sensibilidad entre detectores,...).

Ambos tipos de ruido se reducen mediante procesado de imagen (Capítulo 4.1.) efectuando promediados temporales y espaciales de las secuencias termográficas. Los errores originados por un desacierto en la valoración de los parámetros de la transferencia de calor por radiación (básicamente los valores de las características de emisividad y reflectividad de la superficie de los materiales) requieren de técnicas específicas para su corrección. Del conocimiento del mecanismo de radiación se extrae la importancia de una alta emisividad (uniforme en todas las direcciones de radiación y longitudes de onda) y una baja reflectividad de la superficie de los materiales bajo inspección, ya que la potencia radiada captada por el sistema es directamente proporcional a la emisividad mientras que la reflectividad es su “complemento a la unidad” para una superficie opaca ⁵.

El efecto de dichos parámetros puede tratarse mediante software, siendo modificados puntualmente en el procesado de la imagen, o bien puede uniformarse haciendo que toda la superficie tenga el mismo valor en estas características. La modificación de la emisividad, por ejemplo, se logra mediante el recubrimiento de la superficie con una pintura de alta emisividad como sprays de color negro mate procurando un acabado uniforme (es erróneo pensar que sólo y todas las pinturas negras tienen alta emisividad, la pintura blanca de óxido de titanio tiene una emisividad de 0.94). La adecuación de la composición química de la pintura debe verificarse para que pueda ser eliminada fácilmente y no afecte al objeto bajo prueba (ensayo no destructivo).

⁵ Para más detalles sobre los conceptos fundamentales de la radiación como mecanismo de transferencia de calor (ley de Planck, ley de Stefan-Boltzmann, concepto de cuerpo negro, emisividad, principio de conservación de la energía radiada, ...) se sugiere consultar publicaciones de este campo o de Física.



Otras alternativas son el uso de cintas adhesivas o modificar la superficie favoreciendo el proceso de oxidación o puliéndola, aunque no son opciones recomendadas por dejar secuelas en el material (pegamentos de las cintas y el óxido). Si aún así la superficie presenta variaciones importantes de emisividad (por ejemplo, como consecuencia de su porosidad y rugosidad) o no es posible modificarla (por ejemplo, superficies incandescentes o inaccesibles), se pueden aplicar técnicas propias de la pirometría (termografía de doble banda, dual band thermography o la sustracción en el procesamiento de imágenes de una imagen de referencia, o imagen fría, que reduce los efectos de la emisividad y del fondo de la escena de inspección.

Todos estos errores en las medidas, aunque no eliminados, pueden ser minimizados mediante un proceso de calibración de los sistemas termográficos.

El uso de fuentes de calibración de cuerpo negro o la medida de superficies con una temperatura controlada permite la corrección, con un preprocesado, de las imágenes capturadas.

3.2.2.9. Normas y cualificación

Las normativas y directrices para la termografía se dividen en dos categorías. Especificaciones técnicas de las cámaras termográficas y especificaciones para la formación y cualificación del personal que usa la termografía.

A continuación realizamos una enumeración orientativa y no exhaustiva de la normativa aplicable a la termografía infrarroja.

ISO (International Organization for Standardization)

- **ISO 13372:2004** – Condiciones de vigilancia y diagnóstico de máquinas
Vocabulario.
- **ISO 13374-1:2003** – Condiciones de vigilancia y diagnóstico de máquinas -
Procesamiento de datos, la comunicación y presentación - Parte 1: Reglas
generales.
- **ISO 13374-2:2007** – Condiciones de vigilancia y diagnóstico de máquinas -
Procesamiento de datos, la comunicación y presentación - Parte 2:
Procesamiento de datos.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



- **ISO 13379:2003** – Condiciones de vigilancia y diagnóstico de máquinas - Directrices generales para la interpretación de datos y las técnicas de diagnóstico.
- **ISO 13380:2002** – Condiciones de vigilancia y diagnóstico de máquinas - Directrices generales sobre el uso de los parámetros de rendimiento.
- **ISO 13381-1:2004** – Condiciones de vigilancia y diagnóstico de máquinas - Pronósticos - Parte 1: Reglas generales.
- **ISO 17359:2003** - Condiciones de vigilancia y diagnóstico de máquinas - Directrices generales.
- **ISO 18434-1:2008** – Condiciones de vigilancia y diagnóstico de máquinas - Termografía - Parte 1: Procedimientos generales.
- **ISO 18436-1:2004** Condiciones vigilancia y diagnóstico de las máquinas - Requisitos para la formación y titulación del personal - Parte 1: Requisitos para los organismos de certificación y el proceso de certificación.
- **ISO 18436-3:2008** Condiciones de vigilancia y diagnóstico de máquinas - Requisitos para la calificación y evaluación de personal - Parte 3: Requisitos para los organismos de formación y el proceso de formación.
- **ISO 18436-7:2008** Condiciones de vigilancia y diagnóstico de máquinas - Requisitos para la calificación y evaluación de personal - Parte 7: Termografía.
- **ISO/DIS 10878** Ensayos no destructivos - Termografía infrarroja - Vocabulario.
- **ISO 9712:2012** Ensayos no destructivos – Calificación y certificación de personal para END.
- **ISO 6781:1983** Aislamiento térmico – Detección cualitativa de irregularidades térmicas en envolventes del edificio – Método infrarrojo.



- **ISO / TR 13154:2009** Equipos electromédicos – Directrices de implementación, aplicación y funcionamiento para la identificación de fiebre en los seres humanos con un screening termográfico.
- **ISO 80601-2-56:2009** Equipos electromédicos - Parte 2-56: Requisitos particulares para la seguridad básica y funcionamiento esencial de los termómetros clínicos para la medición de la temperatura corporal.

EN (European Standards)

- **EN 13187:1999** Rendimiento térmico de edificios. Detección cualitativa de irregularidades térmicas en envolventes de edificios. Método infrarrojo (*ISO 6781:1983 modified*).

DIN (Deutsches Institut für Normung)

- **DIN 54191** – Normativa alemana sobre la comprobación no destructiva de instalaciones eléctricas mediante comprobaciones por termografía.
- **DIN 54162** – Normativa alemana sobre comprobaciones no destructivas - Cualificación y certificación de personal relacionado con la comprobación mediante termografía - Principios generales y específicos para los niveles 1, 2 y 3
- **VdS** – Requisitos mínimos para cámaras termográficas – El VdS Schadenverhütung GmbH establece estos requisitos mínimos que las cámaras termográficas deben cumplir para asegurar una investigación termográfica efectiva en equipamiento eléctrico.



CNPP (French Centre National de Prévention et de Protection)

- **CNPP** –Especificaciones Técnicas de las Cámaras por Infrarrojos, descripción de los requisitos técnicos mínimos para cámaras termográficas por el French Centre National de Prévention et de Protection (Centro Nacional Francés para la Prevención y Protección)

ASNT (American Society for Nondestructive Testing)

- **ASNT SNT-TC- 1A** Práctica recomendada - Calificación y Certificación de Personal en Pruebas No Destructivas.

Militares

- **MIL-SDT-2194** MILITARY STANDARD. INFRARED THERMAL IMAGING SURVEY PROCEDURE FOR ELECTRICAL EQUIPMENT.



ASTM (American Society For Testing and Materials)

- **ASTM C1060-90** (Reapproved 2003). Método de prueba estándar para la inspección termográfica de instalaciones de aislamientos en cavidades de la estructura de la envolvente de edificios.
- **ASTM C1153-97** (Reapproved 2003). Método de prueba estándar para la localización de aislamiento húmedo en sistemas de cubiertas utilizando imagen infrarroja.
- **ASTM D4788-03** (Reapproved 2007). Método de prueba estándar para la detección de delaminaciones en cubiertas de puentes utilizando imagen infrarroja.
- **ASTM C1046-95** (Reapproved 2007). Método de prueba estándar para la medición “in situ” del flujo de calor y la temperatura en componentes de la envolvente del edificio.
- **ASTM C1934-99a** (Reapproved 2005). Método de prueba estándar para examinar equipos eléctricos y mecánicos mediante termografía infrarroja.

Aunque casi todos los organismos reguladores y certificadores tienen normas para la realización de ensayos termográficos y cualificación de personal, no existe una normativa o procedimiento específico para llevar a cabo estos ensayos, hay que tener en cuenta que las normas son solo recomendaciones, no son de obligado cumplimiento usarlas, a menos que el cliente lo especifique. Una industria puede crear su propia norma interna, basadas en sus pruebas y resultados en sus propios equipos.



3.2.2.10. Cámaras comerciales y su software

En este apartado se presentan algunos ejemplos de cámaras comerciales junto con el software utilizado para el análisis de las imágenes termográficas, ya que cada fabricante proporciona el suyo.

Cámaras termográficas NEC



Thermo Tracer H2630 (cámara portátil)

Cámara utilizada para trabajos de inspección de instalaciones eléctricas, mecánicas, energías renovables o edificación. Utiliza detectores infrarrojos de 640 x 480 píxeles, ofreciendo gran sensibilidad y precisión. Presenta en tiempo real imágenes térmicas de alta resolución. Además permite adjuntar una foto real al termograma realizado ya que incorpora una cámara digital color con resolución de 1280 x 1024 píxeles. Tiene una

sensibilidad de 0.04°C y una precisión de + 2%.

En la tabla 2 se muestran algunas de sus especificaciones técnicas:

Rangos de Medida	
Rango 1	20 a 60 °C
Rango 2	-40 a 120 °C
Rango 3	0 a 500 °C
Rango 4 (opcional)	200 a 2000 °C
Resolución	0.04°C(a 30 °C)
Precisión	±2 °C o ±2% del valor leído
Detector	640 x 480 píxel (UFPA microbolometer)
Rango espectral	8 a 14µm
Distancia de enfoque min	0.3m
Campo visual	21.7 °(H) x 16.4 °(V)
Frecuencia de imagen	30 imágenes/seg.
Corrección de emisividad	0.10 a 1.00 (en pasos de 0.01)
Señal de vídeo	NTSC/PAL, compuesto/S-video
Interface	IEEE 1394, USB2.0

Tabla 2. Especificaciones técnicas de la cámara Thermo Tracer H2630.

⁶ Número de píxeles: Da una medida de la resolución del sensor. Puede darse en forma de altura por anchura (ej: 600x400 píxeles) o simplemente la cantidad total de píxeles (ej: 240000 píxeles).



TS 9100 (cámara fija)

Ésta es una cámara termográfica fija para monitorización de procesos industriales, control de refractarios y puntos críticos, etc.

Especialmente indicada para plantas petroquímicas, fundiciones, estudios ambientales y seguridad.

La conexión a PC se realiza a través de Ethernet o IEEE y se pueden configurar diferentes ventanas de evaluación dentro de la imagen para el control de diferentes zonas, las cuales activarán una señal de alarma en caso de sobrepasar los valores de temperatura configurados.

Rango de Medida	-40°C a +500°C
Resolución	0.08°C
Precisión	±2 °C o ±2% del valor leído
Detector	320 x 240 Microbolometer Uncooled FPA
Rango espectral	8 a 14µm
Distancia de enfoque min	0.3m
Campo visual	21.7 °(H) x 16.4 °(V)
Frecuencia de imagen	60 Hz
Corrección de emisividad	0.10 a 1.00 (en pasos de 0.01)
Señal de vídeo	NTSC/PAL
Interface	IEEE 1394, Ethernet

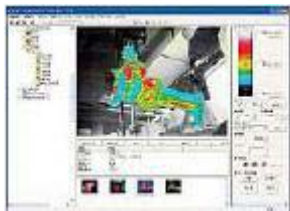
Tabla 3. Especificaciones técnicas de la cámara TS 9100.



Estos son algunos de los programas que NEC ofrece para sus cámaras:

NEC San-ei NS 9500

Programa informático de documentación de imágenes termográficas y análisis de secuencias con funciones de ajuste y varias paletas de colores.



Acepta la selección de múltiples puntos de medida, líneas de perfil, áreas, histogramas, gráficos de tendencia, función multisense, etc...

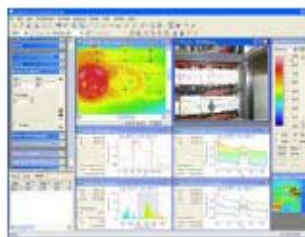
Ayuda para realizar informes de manera sencilla con imágenes térmicas y datos de temperatura en Word y Excel.

Realiza fusión de imágenes térmica y visual

Posees la función de sustracción de 2 imágenes infrarrojas.

GTS 5.1

Programa avanzado de análisis de termogramas y generación de informes.



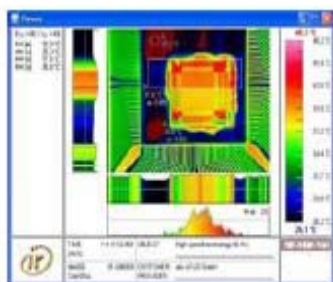
Ofrece una amplia gama de funciones de análisis como la detección automática de punto caliente, la tendencia de múltiples puntos, línea de tendencia, tendencia de área, isotermas, histogramas, línea de perfil de temperatura, estadísticas de regiones de interés, etc.

Todas las herramientas de análisis permiten la corrección de emisividad para regiones independientes o la imagen completa. Incluye herramientas de análisis como la

sustracción de imágenes, composición de imágenes y la exportación de secuencia termográfica (JPEG, mapas de bits, AVI).

irMOTION PROFESSIONAL

Es un programa de registro en tiempo real mediante Fire Wire , LAN, HDCP, USB2, RS-422, etc. La tecnología de múltiples líneas permite una



visualización simultánea, almacenamiento digital, recuperación de datos, acceso a disparo y análisis de imágenes infrarrojas en directo.

Ejecución simultánea de varios parámetros de emisividad local con indicaciones de colores en directo, gráficos de distribución animados y registro digital sin compresión en disco duro.



Cámaras termográficas Flir



FLIR i5/i7

Son totalmente automáticas; todo lo que tiene que hacer es apuntar y apretar para ver las variaciones de calor en el ambiente en que se encuentre y localizar exactamente lo que busca.

Las lecturas infrarrojas de las FLIR i5/i7 son visibles, claras y aparecen inmediatamente en su pantalla a color.

Se pueden grabar todas las lecturas de imagen para futuras referencias. Estas cámaras se utilizan para detectar problemas ocultos, evaluar daños, localizar humedad y fugas, identificar pérdidas de energía y mal aislamiento y reconocer fallas eléctricas y de sobrecalentamiento.

Rangos de Medida	De 0° C a 50° C (de 32° F a 122° F)
Precisión	±1 °C o ±2% del valor leído
Detector	120x120 pixeles
Rango espectral	7.5 a 13µm
Distancia de enfoque min	0,6m
Campo visual	25º(H) x 25º(V)
Frecuencia de imagen	90Hz

Tabla 4. Especificaciones técnicas de la cámara FLIR i5/i7.



Serie-SC5000

Estas cámaras están diseñadas específicamente para análisis de tensión, pruebas mecánicas y tareas industriales, educativas, de I+D, termografía IR y pruebas no destructivas. Son de alta resolución espacial lo que permite la más alta sensibilidad y precisión. Su matriz de plano focal de antimonio de indio, con formato de 320x240 ó 640x512 píxeles, proporciona una frecuencia de imagen de 100 ó 380 hertz respectivamente, manteniendo una excelente linealidad y formas de alta sensibilidad. El uso de la tecnología de circuito lector integrado logra menor grado de ruido y mayor grado de píxel, sin afectar la sensibilidad.



Figura 20. Cámaras de la serie SC5000.

Rangos de Medida	De -20 °C a 3000 °C
Precisión	±1 °C o ±1% del valor leído
Detector	320x240 ó 640x512 píxeles
Rango espectral	2.5-5 µm
Distancia de enfoque min	0,6m
Campo visual	42°(H) x 34°(V)
Frecuencia de imagen	hasta 380 Hz

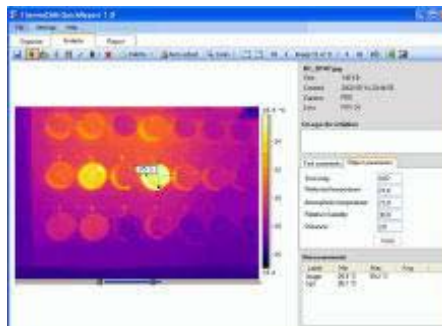
Tabla 5. Especificaciones técnicas de la cámara FLIR SC 5000.



Estos son algunos de los programas que Flir ofrece para sus cámaras:

QuickReport

- El software permite al usuario ajustar el nivel, el intervalo de tiempo, el zoom y la panorámica de la cámara. Ofrece una selección de diez diferentes paletas de color. La alarma advierte si existe riesgo de condensación en la superficie, crecimiento de moho y aislamiento inadecuado.
- Las plantillas de reporte integradas le permiten al usuario incluir dos imágenes infrarrojas, o una infrarroja y una digital. Las descripciones de la imagen y los comentarios de voz y texto se podrían transmitir automáticamente en el reporte.
- La etiqueta «Analyze» en el QuickReport de FLIR despliega información de imagen y herramientas para ajustar las herramientas de medición, los parámetros del objeto, comentarios de texto y la tabla de resultados de medición. El reporte de inspección incluye una imagen IR y una imagen digital, además de la tabla de resultados de análisis.



Reporter Building

Paquete de software diseñado especialmente para llevar a cabo análisis avanzados de las estructuras de los edificios. Se utiliza para analizar imágenes que se tomaron con cámara infrarroja en el área inspeccionada y elaborar reportes de inspección basados en dichas imágenes.

ThermaCAM Researcher

Diseñado para los profesionales en Investigación y Desarrollo, científicos y otros usuarios de infrarrojos que desean un detallado análisis estático o en tiempo real de los procesos térmicos.

Detallado también para usos en ambientes científicos donde se requiere un análisis térmico detallado de eventos transitorios. Basado en Windows® y altamente versátil, el ThermaCam Researcher da un nuevo nivel de poder y flexibilidad a las imágenes térmicas, al poseer características de análisis extensivos, así como adquisición de datos a alta velocidad. El Researcher, de manera perfecta, almacena, colecta y analiza imágenes IR y datos directamente de la cámara IR, lo que permite una profunda y precisa evaluación del desempeño térmico.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



3.2.2.11. Otros equipos

Dispositivo de imagen térmica: RAYTEK MP150

El MP150, el componente principal de toda la serie de procesadores de imágenes, es un explorador de líneas de alta precisión; es una manera eficiente y de costo razonable de medir temperaturas de extremo a extremo para el control de la uniformidad del producto.

Permite una rápida exploración de imágenes térmicas en tiempo real, de hasta 150 líneas por segundo. Además ofrece la posibilidad de selección de distintos modelos y respuestas espectrales.

Escáner lineal infrarrojo: OPC RAYTEK

Escáner diseñado para el monitoreo de hornos rotatorios, que detecta puntos calientes y evita daños costosos y tiempos muertos no programados.

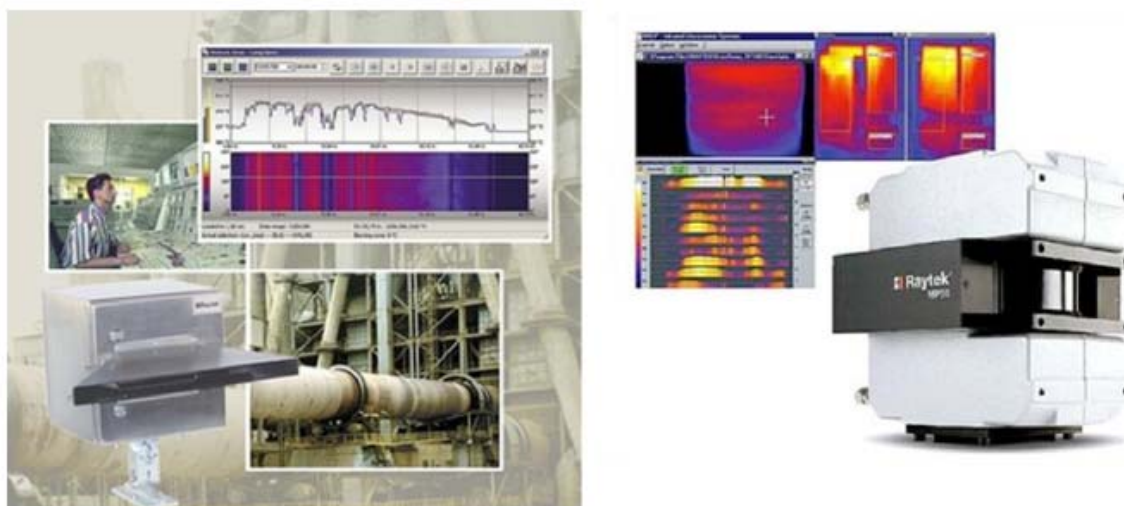


Figura 21. Escáner RAYTEC.

- Detecta condiciones anormales de operación tales como posición y forma defectuosa de la flama.
- Optimiza y administra el mantenimiento del horno.
- Extiende la vida operacional del horno y refractarios.
- Mapea la superficie completa del horno y la muestra en formato de termograma en tiempo real.

Accesorios opcionales, completamente integrados, extienden la capacidad al incluir detección de zonas ocultas, monitoreo de la zona de combustión, deslizamiento de llantas y control de ventiladores.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



ThermoScope™

El sistema Thermo Scope™ es una unidad compacta diseñada más específicamente para aplicaciones de campo.

Ofrece las posibilidades de un sistema de laboratorio en una unidad compacta útil tanto para el transporte como para operaciones de campo. Es un equipo liviano en el que está integrado la adquisición, el procesamiento y el análisis de imágenes térmicas. Es compatible con cualquier cámara infrarroja y realiza las siguientes funciones:

- Análisis automático de la imagen para decisiones puntuales.
- Avanzado procesamiento de la señal para el caso de las cámaras infrarrojas análogas.
- Simple operación con botones de interfase.
- Análisis cuantitativo del defecto tanto para el área que ocupa como su ubicación en profundidad.



Figura 22. Sistema Thermo Scope.



Microscopio infrarrojo

El microscopio infrarrojo permite el análisis de rastros de componentes, contaminantes, laminados de múltiples capas, películas delgadas, capas, productos farmacéuticos y fibras. Muestras tan pequeñas como de 10 mm pueden ser analizadas. Cada sistema proporciona una pantalla de vídeo y la capacidad de grabar, los usuarios pueden archivar imágenes de muestras para una demostración fácil o publicación.

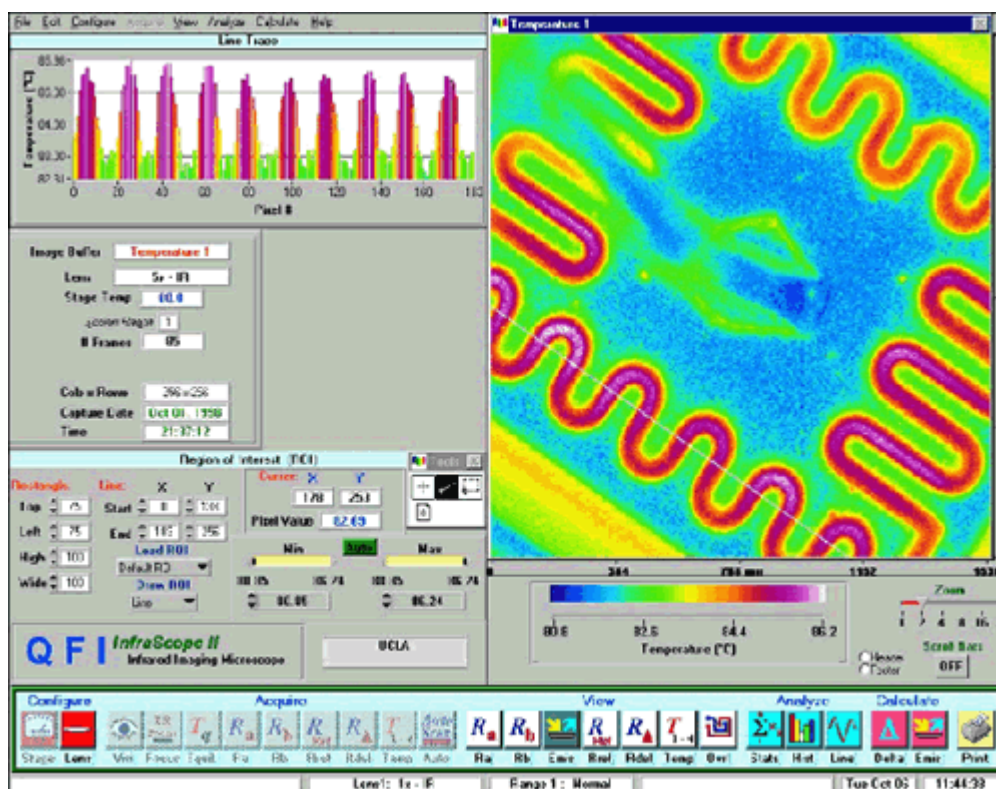


Figura 23. Captura del interfaz del SW controlador de un microscopio infrarrojo

Las áreas de aplicación del microscopio infrarrojo son:

- Micro mapeo térmico
- Verificación del diseño térmico
- Control de calidad
- Garantía de calidad
- Optimización de la Fiabilidad
- Estudios de disipación de calor
- Uniones y continuidad térmica
- Detección de puntos calientes

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Como ejemplo de microscopio infrarrojo vamos a tomar el modelo AIM-8800. Éste posee control total del movimiento de la pletina, tamaño de apertura y enfoque, todo desde la pantalla del PC.



Figura 24. Microscopio infrarrojo.

Ofrece soporte para análisis por transmisión, reflexión y métodos ATR, y una alta sensibilidad. Para mayor facilidad de uso, existe el software AIM View, con el que se puede controlar lo siguiente:

- Apertura automática - maximiza la radiación infrarroja en el punto de muestra.
- Platina X-Y automática - simplifica el posicionamiento de la muestra. Se pueden almacenar hasta 10 posiciones de muestra y 2 de referencia. El movimiento puede ser tan pequeño como 1 μm .
- Enfoque automático.
- Centralización automática.

El escáner de termografía infrarroja SCAN

Medición de temperatura a distancia

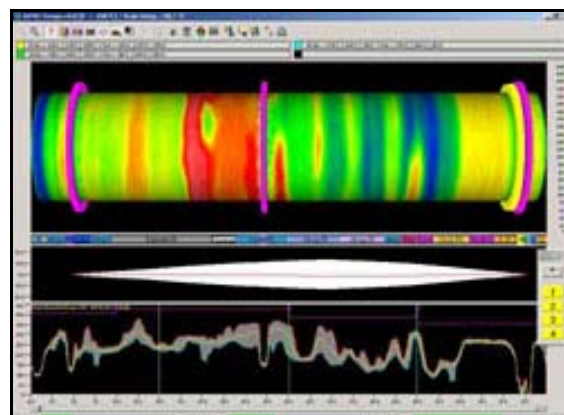
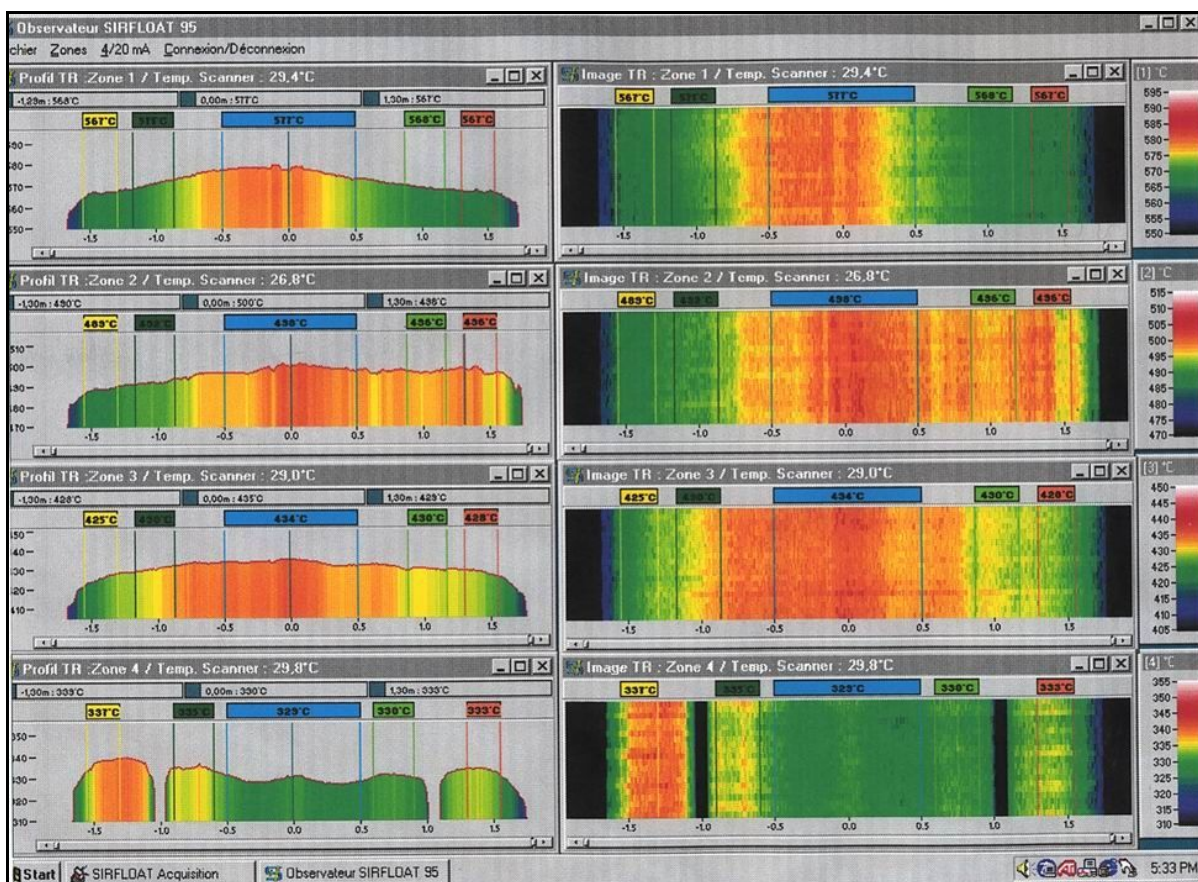
El escáner SCAN de termografía infrarroja de barrido lineal permite medir la temperatura durante los procedimientos industriales. Este control, realizado sin contacto a una cadencia de 20 a 400 líneas por segundo, cubre campos de aplicación muy variados.

SCAN se utiliza en numerosas plantas de todo el mundo en la fabricación de vidrio, papel, plástico, tabaco, además de en la producción de cemento, en la metalurgia, la siderurgia y la industria electrónica.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.

Director: Federico López-Cerón de Lara



Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Capítulo 4. Análisis de Imágenes Termográficas

4.1. Preprocesado de Imágenes Termográficas

El principio de detección de defectos o singularidades en objetos se basa en el hecho de que el frente térmico se propaga homogéneamente a través del material salvo en presencia de heterogeneidades o defectos. Si hubiera algo en el interior del material que tuviera diferentes propiedades térmicas, la conducción del calor sufriría variaciones y esto se reflejaría en la superficie de la muestra mediante la aparición de puntos de contraste térmico. Por lo tanto, la precisión en la medida de temperaturas debe estar garantizada y es por ello que existe un preprocesado con el que se pretenden minimizar los efectos de la óptica y la electrónica que captura los valores de esa temperatura superficial. Este preprocesado cubre diversas etapas que se presenta a continuación.

4.1.1. Píxeles defectuosos (badpixels)

La primera etapa de preprocesado consiste en regenerar los píxeles defectuosos (badpixel). Se puede definir píxel defectuoso como píxel anómalo que se comporta de diferente forma a los demás píxeles del array, esto es, píxeles que presentan niveles anormales de intensidad sean muy bajos (en negro), deadpixel o píxel muerto, o muy altos (en blanco), píxel caliente, y que no proporcionan ninguna información de utilidad y sólo contribuyen a deteriorar el contraste de la imagen.

Afortunadamente, éstos pueden ser detectados fácilmente con un algoritmo de detección, por ejemplo haciendo pasar un filtro de detección (kernel γ) o simplemente por detección visual por un operador, para después ser remplazados por el valor promedio de los píxeles adyacentes. El termograma no corregido de la figura 25 b corresponde a una Placa de acero con 25 inclusiones de Teflon de diferentes tamaños y en varias posiciones. La figura 25 f muestra el resultado después de restaurar los píxeles defectuosos.

⁷ El concepto de kernel se entiende como una matriz de coeficientes donde el entorno del punto (x,y) que se considera en la imagen para obtener g(x,y) está determinado por el tamaño y forma del kernel seleccionado. Aunque la forma y tamaño de esta matriz es variable y queda a elección de cada usuario, es común el uso de kernels cuadrados nxn. Dependiendo de la implementación, en los límites de la imagen se aplica un tratamiento especial (se asume un marco exterior de ceros o se repiten los valores del borde) o no se aplica ninguno. Es por ello, que el tipo de filtrado queda establecido por el contenido de dicho kernel utilizado.



4.1.2. Ruido de Patrón Fijo (FPN)

El siguiente paso es la corrección del ruido de patrón fijo (FPN Fixed Pattern Noise) causado por diferencias en la responsividad de los detectores. Se trata de un problema común cuando se trabaja con conjuntos de plano focal (FPA Focal Plane Arrays). Para los casos en que la escena es fija, este problema puede corregirse con la sustracción de una imagen 'fría', esto es, el termograma grabado antes de la aplicación del impulso de calor en la superficie. Cabe mencionar que el FPN depende del tipo de configuración utilizada para conformar la matriz de detectores. En general, las cámaras a base de CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) contienen niveles de ruido más altos que sus contrapartes construidas con CCDs (Charge-Coupled Devices). La figura 25 c muestra el FPN (líneas verticales) en el termograma.

4.1.3. Encuadre (vignetting)

El encuadre (vignetting) es sin duda uno de los problemas más complejos en Termografía. El encuadre consiste en un oscurecimiento de las esquinas de los termogramas respecto al centro de los mismos debido a una exposición limitada en esas áreas (ver figura 25 d) y depende de la localización del píxel y la diferencia de temperatura respecto a la del ambiente. El procedimiento de corrección de encuadre requiere una etapa de calibración que involucra la toma de termogramas de cuerpo negro a diferentes temperaturas (en el rango de operación).

4.1.4. Calibración de temperatura

Las imágenes obtenidas con la cámara infrarroja, son imágenes en escala de grises. De ellas se desprenden secuencias de datos que consisten en matrices tridimensionales donde cada punto posee dos coordenadas espaciales y una de intensidad arbitraria (brillo) que necesita de una etapa de calibrado para poder ser transformada en temperatura. Al igual que en el caso de la corrección de encuadre, la calibración en temperatura requiere la obtención de varias imágenes de intensidad a diferentes temperaturas. Este procedimiento consiste en colocar la cámara infrarroja en frente de una fuente de referencia de temperatura (por ejemplo un cuerpo negro) a varias temperaturas diferentes, conocidas. Mientras la fuente de referencia varía de temperatura, las imágenes infrarrojas se van grabando. El resultado es un polinomio (de tercer o cuarto grado) obtenido por regresión de los datos de temperatura con respecto a los niveles de gris dados por la cámara. La figura 25 f muestra el termograma de la figura 25 b corregido en píxeles defectuosos, FPN, encuadre, y transformado en temperatura.

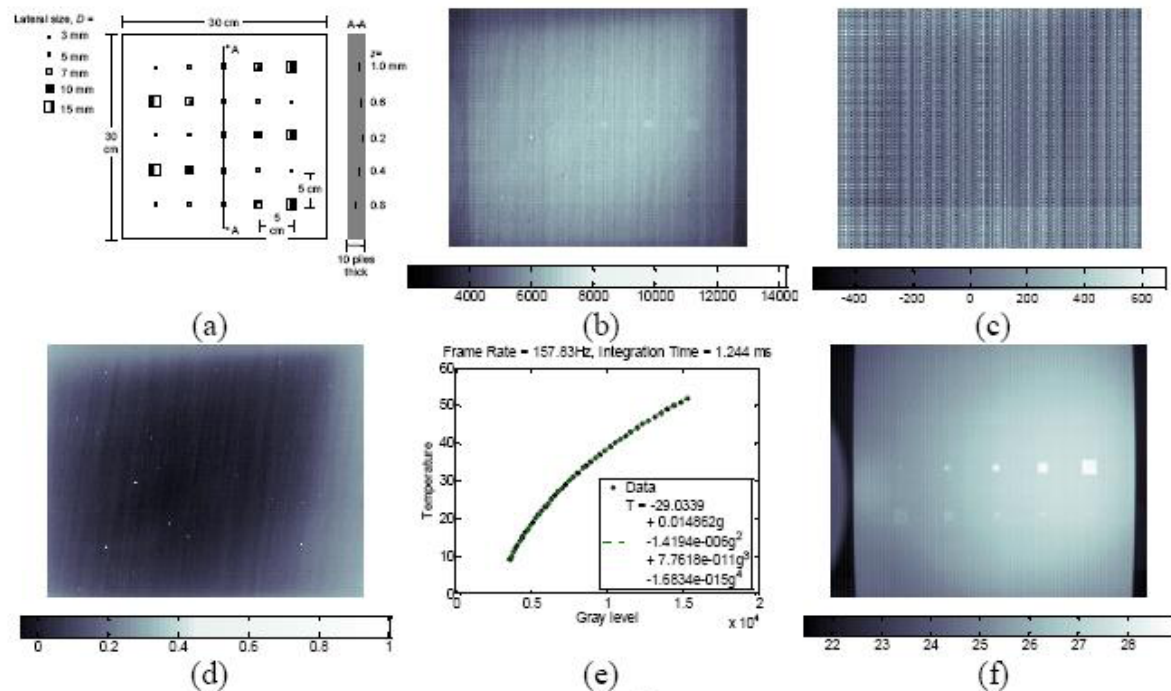


Figura 25. (a) Placa de acero con 25 inclusiones de Teflon de diferentes tamaños y en varias posiciones; (b) Termograma inicial tomado 209 ms después del pulso de calor; (c) Ruido de patrón fijo; (d) Badpixels y vignetting; (e) Curva de calibración de temperatura; (f) Termograma en (b) con corrección de ruido de patrón fijo, badpixels y vignetting y calibrado en temperatura.

4.1.5. Reducción de ruido

Una de las técnicas de procesamiento y post-procesamiento más usadas es la reducción de ruido. Si la imagen corregida aún posee niveles altos de ruido, es necesaria una etapa de filtrado. Existe un gran número de técnicas de filtrado que pueden aplicarse a imágenes infrarrojas tanto espacial como temporalmente, por ejemplo, el uso de un filtro Gaussiano con determinada varianza o las técnicas de promediado por píxeles vecinos mediante una máscara o kernel [1]. La Figura 22 a y b muestra un termograma antes y después de aplicar un filtro Gaussiano, respectivamente.

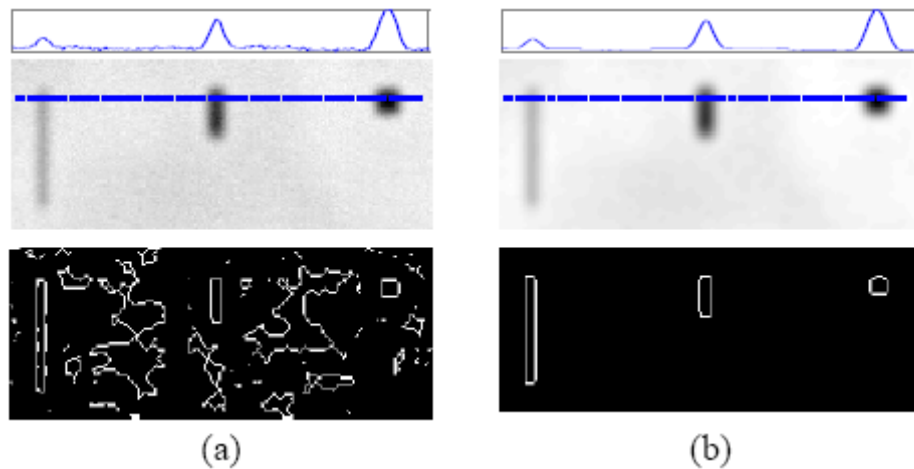


Figura 26. (a) Termograma sin filtrar;
(b) Termograma después de aplicarle un filtro Gaussiano: perfiles espaciales de los defectos (arriba), diagramas de fase (en medio) y resultados de segmentación usando el método de Canny para detección de bordes.

4.2. Procesado

4.2.1. Métodos de contraste térmico

Dentro del ETND se usa el contraste térmico con el fin de evaluar la visibilidad de un defecto, mejorar la calidad de la imagen y determinar la profundidad, grosor y tamaño de los defectos dentro de un material.

4.2.1.1. Contraste térmico clásico

El contraste térmico, en su modo más simple, puede definirse como la diferencia entre la temperatura en una zona no defectuosa $T_{no_{def.}}$, y una región defectuosa T_{def} :

$$Ca(t) = \Delta T(t) = T_{def}(t) - T_{no_{def.}}(t) \quad (1)$$

A este tipo de contraste se le denomina contraste absoluto.



En la figura 27 se observan las curvas de temperatura para un punto sin defecto y otro con defecto y su contraste térmico absoluto.

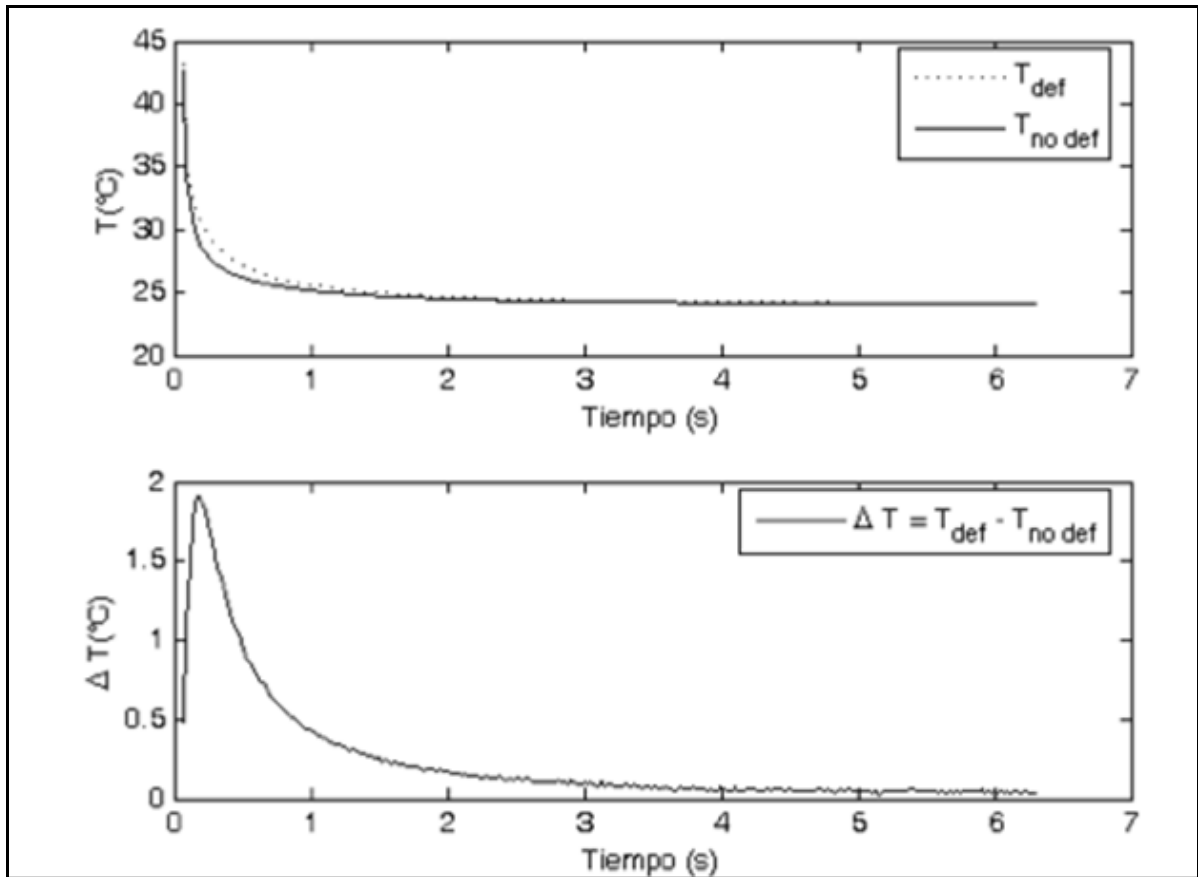


Figura 27. Curvas de temperatura y contraste térmico entre un área defectuosa y un área no defectuosa.

Existen otros tipos de contraste tales como: el contraste relativo, normalizado y estándar. Todos estos tipos de contraste requieren la localización previa de un área no defectuosa en la muestra del material para usar su temperatura. La definición de esta área es un asunto crítico. En la práctica, dicha localización no es posible ya que no se conoce con anterioridad donde están ubicados los defectos, en caso de que existan. El método de contraste absoluto diferencial ha sido desarrollado para resolver este problema.



4.2.1.2. Contraste Absoluto Diferencial

El método de Contraste Absoluto Diferencial (CAD) se desarrolla con el fin de calcular adecuadamente la temperatura de un área no defectuosa a través de la solución unidimensional de la ecuación de Fourier para materiales homogéneos y semi-infinitos estimulados con un impulso térmico Delta de Dirac expresada en la siguiente ecuación (2):

$$T(t) = T_0 + \frac{Q_0}{b\sqrt{\pi t}} \quad (2)$$

En donde T_0 es la temperatura inicial de la placa, Q es la energía por unidad de área depositada sobre la placa y b es la efusividad térmica del material. Combinando las ecuaciones 1 y 2 se llega a la siguiente expresión:

$$\Delta T_{dac} = T_{def} \sqrt{\frac{t'}{t}} \times T(t') \quad (3)$$

En donde el tiempo t' es un tiempo dado entre el instante en el cual el impulso Dirac de calor llega a la muestra y el instante en el cual se observa por primera vez un defecto en el experimento.

Sin embargo, dado que el método CAD está basado en un modelo unidimensional para placa semi-infinita, es decir que no se toma en cuenta el espesor de la placa, el error en los resultados por el método CAD aumenta para tiempos largos (al final de la secuencia), cuando el frente de calor alcanza el lado opuesto de la placa. Este efecto puede verse en la figura 28 que muestra las curvas de contraste correspondientes a 5 insertos cuadrados de Teflón® de 15 mm de lado entre 0.2 y 1.0 mm de profundidad, como se indica en la gráfica. El contraste aumenta en tiempos largos en lugar de decrecer gradualmente.

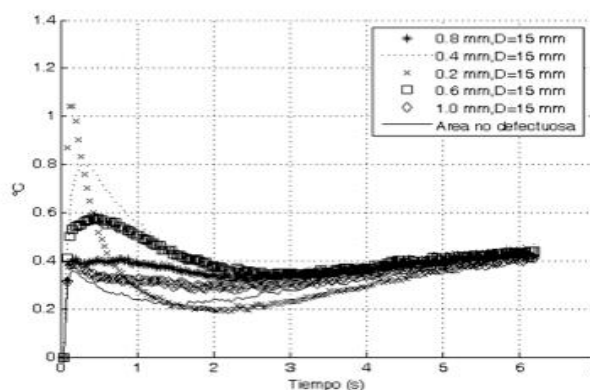


Figura 28. Curvas CAD clásico de los defectos de 15 mm de diámetro en la muestra PRC006.



En la próxima sección se describe una nueva versión del CAD en donde se toma en cuenta el grosor de la placa.

4.2.1.3. CAD modificado por cuádruplos térmicos

El CAD modificado por cuádruplos térmicos es un nuevo tipo de contraste, cuyo modelo de área no defectuosa es más apropiado que aquel usado en el CAD clásico. Esta nueva técnica está basada en cuádruplos térmicos que se definen como un método empleado para resolver problemas de transferencia de calor con base en la transformada de Laplace.

Este método transforma las ecuaciones diferenciales del dominio espacio-tiempo en el dominio de Laplace, en donde se puede tener una representación simple y explícita del problema tratado. Después de aplicar la transformada de Laplace, el problema puede ser resuelto en el dominio de Laplace para después ser transformado de vuelta al espacio original por transformada inversa.

Por esta razón, este método se usa para la solución del problema directo (cálculo de la respuesta térmica de un sistema) y del problema inverso (determinación de parámetros del sistema con base en la respuesta térmica). Sin embargo, dada la base analítica de este método se restringe a problemas lineales con geometrías simples. Aprovechando estas características se hace un estudio de una placa finita que recibe un impulso de calor Delta de Dirac y se quiere conocer la temperatura sobre la cara que recibe este impulso. La Figura 25 muestra una placa hecha de material compuesto con espesor L (m) que es sometida a un impulso de calor Delta de Dirac Q (J/m²) depositado sobre su cara superior ($x = 0$). Mientras que su cara inferior ($x = L$) permanece térmicamente aislada.

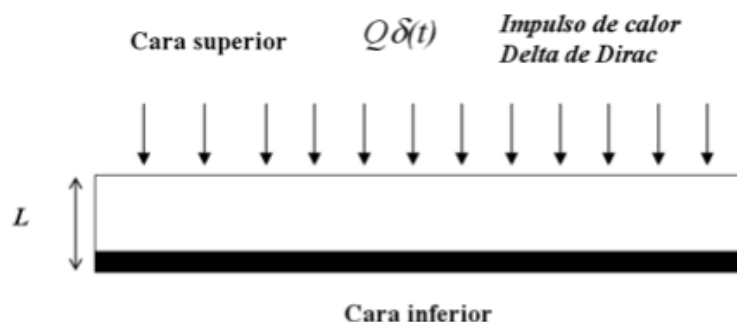


Figura 29. Placa finita de material compuesto sometida a un impulso térmico delta de Dirac.



Mediante la técnica de cuádruplos térmicos es posible encontrar la temperatura de la cara superior de este sistema en el dominio de Laplace:

$$\theta_{sup}(p) = \frac{Q}{b \cot \sqrt{pL^2/\alpha}} \quad (4)$$

En donde $\theta_{sup}(p)$ es la temperatura en el dominio de Laplace en la cara superior de la placa, p es la variable del dominio de Laplace, Q es la densidad total de energía entregada por el impulso de Dirac, L es el espesor de la muestra, α es la difusividad térmica del material y b es la efusividad térmica del material. Las distribuciones de temperatura en la cara superior para los tiempos t y t' se pueden expresar de la siguiente manera:

$$T_{no_def}(t) = \frac{Q}{b} L^{-1} \left[\coth \sqrt{\frac{pL^2}{\alpha}} \right]_t \quad (5)$$

$$T_{no_def}(t) = \frac{Q}{b} L^{-1} \left[\coth \sqrt{\frac{pL^2}{\alpha}} \right]_{t'} \quad (6)$$

Combinando las ecuaciones 5 y 6 se obtiene la siguiente expresión para el CAD modificado:

$$\Delta T_{CAD_{CORR}} = T(t) - \frac{T_{no_def}(t) = \frac{Q}{b} L^{-1} \left[\coth \sqrt{\frac{pL^2}{\alpha}} \right]_t}{T_{no_def}(t) = \frac{Q}{b} L^{-1} \left[\coth \sqrt{\frac{pL^2}{\alpha}} \right]_{t'}} T(t') \quad (7)$$

Es importante observar que en esta ecuación se incluye explícitamente el espesor L de la muestra.

En la figura 30 se observan las curvas del CAD modificado para los mismos defectos analizados anteriormente mediante el CAD sin modificar. En este caso el desempeño del CAD modificado se mantiene para tiempo largos, es decir que para el final de la secuencia el contraste desciende casi a cero, lo que representa una mejora significativa respecto al método anterior ya que constituye un modelo más apropiado para representar la difusión de calor a través de la muestra.

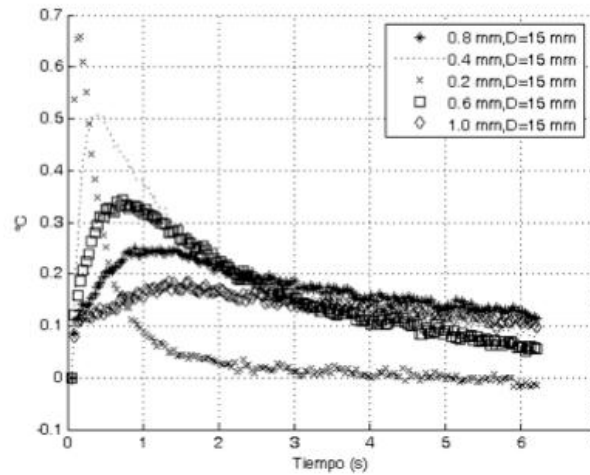


Figura 30. Curvas de CAD modificado de los defectos de 15 mm de diámetro en la muestra PFRC006.

4.2.2. Termografía de fase pulsada

El procesamiento de imágenes infrarrojas a través de la termografía de fase pulsada consiste en pasar del dominio temporal al espectro frecuencial la respuesta de la muestra inspeccionada. Esto se hace mediante la Transformada de Fourier Discreta (TFD), aplicándose sobre cada píxel de la secuencia de termogramas.

$$F_n = \Delta t \sum_{k=0}^{N-1} T(k\Delta t) e^{-j2\pi nk/N} = Re_n + Im_n \quad (8)$$

Donde n corresponde a los incrementos de frecuencia ($n=0,1,\dots,N$); Δt es el intervalo de tiempo entre adquisiciones; Re_n y Im_n son las partes real e imaginaria de la transformada de Fourier, que pueden combinarse para extraer la amplitud A_n , y la fase ϕ_n :

$$A_n = \sqrt{Re_n^2 + Im_n^2}, \phi_n = \tan^{-1} \left(\frac{Im_n}{Re_n} \right) \quad (9)$$



Con la termografía de fase pulsada se puede estimar la profundidad de un defecto. Esta estimación se basa en la relación que existe entre la profundidad del defecto z , y la difusividad térmica evaluada a la frecuencia límite f_b dada por la siguiente expresión:

$$z = C_1 \sqrt{\frac{\alpha}{\pi f_b}} \quad (10)$$

Donde α es la difusividad térmica, y C_1 es la constante de regresión que toma un valor igual a la unidad cuando se trabaja con imágenes de amplitud, y un valor de aproximadamente 1.8 en el caso de la fase.

Cualquier función puede ser descompuesta en sinusoides y, en particular, la evolución temporal de la temperatura superficial de un objeto bajo excitación pulsada da lugar a una respuesta en amplitud y en fase que son de forma par e impar, respectivamente, respecto a la frecuencia $f=0$ Hz.

A partir de estas respuestas a la evolución de cada píxel, se procesan secuencias de amplitud y fase para toda la superficie en forma de imágenes.

La fase es particularmente interesante en ensayos no destructivos ya que está menos afectada por los problemas típicos de la termografía activa, como son, reflexiones del entorno, variaciones de emisividad, calentamiento o excitación no uniforme, geometría de la superficie y su orientación.

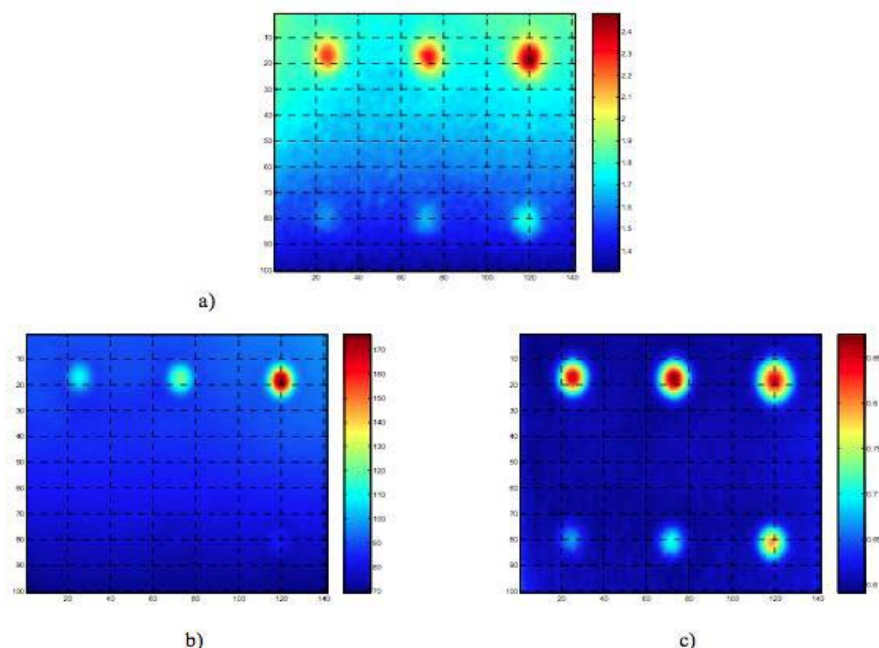


Figura 31. Curvas c) muestra una imagen de fase, o fasegrama, obtenida al aplicar la PPT a la secuencia corregida como en a). Como puede observarse, se logra una mejora considerable del contraste entre zonas sanas y defectuosas gracias a la utilización de la fase. Además, puede alcanzarse una mejora de contraste aún más notable al utilizar el algoritmo PPT con datos sintéticos de entrada en vez de datos brutos.



4.2.3. Reconstrucción de señales termográficas

La reconstrucción de señales termográficas (TSR del inglés Thermographic Signal Reconstruction) es una técnica de procesamiento de imágenes termográficas que permite incrementar la resolución espacial y temporal de una secuencia, al mismo tiempo que reduce la cantidad de datos a manipular.

Está basada en la ecuación unidimensional de difusión de calor que describe la evolución de temperatura sobre la superficie de una placa semi- infinita después de haber recibido un estímulo térmico tipo Delta de Dirac:

$$T = \frac{Q}{e\sqrt{\pi t}} \quad (11)$$

Donde t es tiempo, e es la efusividad térmica del material y Q es la densidad de energía sobre la superficie.

Esta relación puede ser escrita en una forma logarítmica de tal manera que la dependencia temporal de cada píxel pueda ser aproximada con un polinomio de la siguiente manera:

$$\ln[T(t)] = a_0 + a_1 \ln^2(t) + \dots + a_n \ln^n(t) \quad (12)$$

En donde $n + 1$ es el grado del polinomio.

La TSR entrega buenos resultados cualitativos, que permiten la detección de discontinuidades y también permite el filtrado de ruido de alta frecuencia y la reducción de datos para el procesamiento, ya que la secuencia entera de imágenes termográficas puede ser reconstruida a partir de los coeficientes del polinomio usado para la regresión que por lo general es de orden bajo (4 a 7 dependiendo del contenido de ruido de la señal). Es decir, que una secuencia de 800 imágenes puede ser comprimida a 5 imágenes si se aplica la TSR con un polinomio de grado 4.

Adicionalmente, la TSR se puede usar para determinar la profundidad a la que se encuentra un defecto ya que los comportamientos logarítmicos de los píxeles que corresponden a un área defectuosa se alejan del comportamiento lineal (con pendiente -0.5) en un instante de tiempo determinado que está correlacionado con la profundidad del defecto (figura 32).

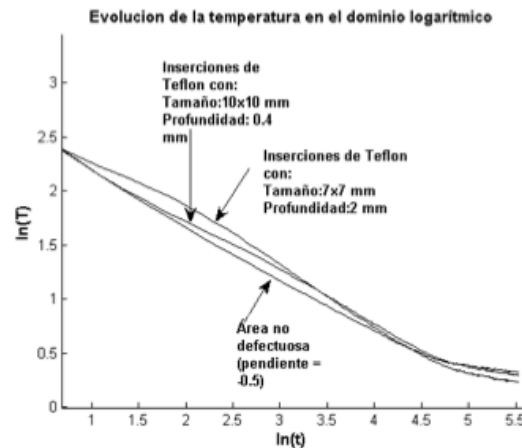


Figura 32. Evolución de temperatura en el dominio logarítmico en una muestra de compuesto (PFRC) con inserciones de Teflón a diferentes profundidades y con diferentes tamaños.

4.2.4. Termografía de componentes principales

El procesado basado en componentes principales (del inglés Principal Components Thermography, PCT) ha sido usada para procesar secuencias de imágenes IR para extraer características y reducir la redundancia de datos.

Esto se consigue descomponiendo la variación temporal de la temperatura superficial de un objeto bajo excitación pulsada a través de la descomposición en valores singulares (SVD) y proyectándola en funciones más apropiadas que las oscilatorias empleadas en la PPT, que se ajustan mejor a la naturaleza monotónicamente decreciente de las señales producidas a partir del ETND.

Antes de aplicar la descomposición, la matriz 3D que representa la secuencia de imágenes IR debe transformarse en una matriz 2D. De esta forma, la SVD de la matriz A de $M \times N$ elementos (dónde $M > N$), está dada por la relación:

$$A = U \times R \times VT \quad (13)$$

Donde R es una matriz diagonal de dimensiones $N \times N$ (valores singulares de A presentes en la diagonal), U es una matriz $M \times N$ y VT es la traspuesta de la matriz $N \times N$ (característica temporal).



4.2.5. Redes neuronales artificiales

Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) son un paradigma de procesamiento automático inspirado en la forma en que funciona el sistema nervioso de los animales. Se trata de un sistema de interconexión de neuronas en una red que colabora para producir un estímulo de salida. Una red neuronal se compone de unidades llamadas neuronas. Cada neurona recibe una serie de entradas a través de interconexiones y emite una salida.

Son conocidas por su capacidad para realizar mapeos entre conjuntos de variables, su baja sensibilidad al ruido y sus capacidades de aprendizaje y generalización. Estas han sido empleadas en los últimos años como detectores de discontinuidades y estimadores de parámetros de defectos en el ETND.

Se pueden emplear distintas arquitecturas, utilizando como entradas para estas redes curvas de evolución del contraste térmico respecto al tiempo, curvas de temperatura, el valor de las derivadas de las curvas de temperatura o curvas de fase y amplitud extraídas a partir de la PPT.

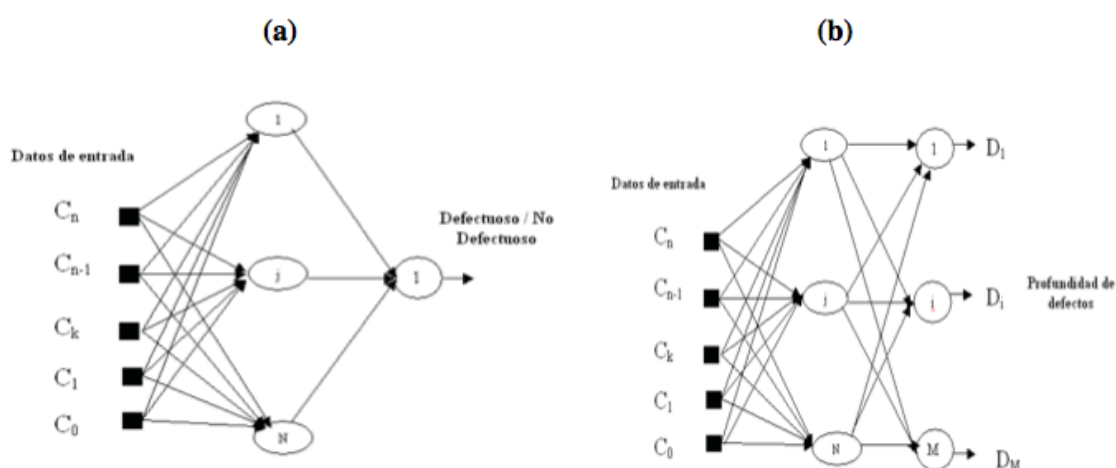


Figura 33. (a) Configuración detector de discontinuidades.
(b) Configuración estimadora de profundidad.

La ilustración 33(a) corresponde a una configuración detector de discontinuidades en cuya salida se tiene una neurona que decide si el píxel analizado es ó no defectuosa dependiendo de un umbral.

Por otro lado, la ilustración 33(b) corresponde a una configuración estimadora de profundidad en donde la red se usa para mapear entre el espacio de entrada, definido por alguno de los tipos de datos mencionados anteriormente, y la profundidad de los defectos encontrados. Si se encuentra una zona no defectuosa esta se codifica como profundidad cero.



En general, se usan estas dos configuraciones en conjunto de tal manera que todos los píxeles son analizados inicialmente por la configuración detector y luego se presentan a la configuración estimadora sólo aquellos píxeles clasificados como defectuosos por parte del detector.

4.3. Post-Procesado

Además de los anteriores, se deben relacionar con la termografía todos aquellos procesados y tratamientos que permiten la extracción de información de las inspecciones realizadas. A continuación se explicarán los diferentes métodos de post-procesado.

4.3.1. Algoritmos de detección de defectos

La inspección visual por parte de un operador es la forma más comúnmente adoptada para la detección de defectos. Organizaciones de END en todo el mundo han emitido unas normas de certificación y calificación de expertos. Por ejemplo, la Sociedad Americana de Ensayos No Destructivos (ASNT) recomienda un nivel de certificación de capacidades en tres pruebas para el personal de infrarrojos (inspector termográfico nivel I, II y III). Sin embargo, diferentes métodos automatizados pueden ayudar a reducir la subjetividad y, en algunos casos, eliminar por completo la intervención humana en el proceso de detección.

Un método muy común es la umbralización. En él se establece un umbral de temperatura (en la imagen, un valor determinado de brillo) que se considera “normal”, considerando valores anormales por encima de este umbral.

Además existe un gran número de métodos de segmentación propios de procesado de imágenes en el espectro visible que pueden perfectamente ser adaptados para el infrarrojo. Como por ejemplo, operadores de detección de bordes como Sobel⁸ o Canny⁹ [2] en pre-procesado. .

⁸ El Operador Sobel aplicado sobre una imagen digital en escala de grises, calcula el gradiente de la intensidad de brillo de cada punto (píxel) dando la dirección del mayor incremento posible (de negro a blanco). Además calcula el momento de cambio en esa dirección, es decir, devuelve un vector. El resultado muestra cuánto de abrupta o suavemente cambia una imagen en cada punto analizado, y a su vez en qué medida un punto determinado representa un borde en la imagen y también la orientación a la que tiende ese borde. En la práctica, el cálculo de la magnitud -que da nociones de un borde- es más sencillo que la interpretación de la dirección.

⁹ El Algoritmo de Canny es un operador desarrollado por John F. Canny en 1986 que utiliza un algoritmo de múltiples etapas para detectar una amplia gama de bordes en imágenes.



Por ejemplo, la figura 26 en pre-procesado muestra el resultado de una segmentación basada en el método de Canny para la detección de bordes. Para la segmentación en la figura 26 a se utiliza un diagrama de fase no filtrado. El resultado de segmentación es mucho mejor en la Figura 26 b donde se utiliza un filtro gaussiano con varianza $\sigma=2$.

4.3.2. Métodos de inversión de la profundidad

Actualmente existen métodos para la inversión de la profundidad tanto en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia, además de los modelos estadísticos los cuales se desarrollarán en este apartado.

4.3.2.1. Contraste térmico

En el dominio del tiempo, la mayoría de las técnicas de inversión de la profundidad requieren de una etapa de calibración, ya sea con un modelo térmico o con varias muestras representativas de las desconocidas.

Por ejemplo, se puede calcular la profundidad del defecto z mediante la extracción de algunos parámetros en la curva de contraste térmico, tales como el contraste ΔT_{\max} máximo y su tiempo de ocurrencia:

$$z = A t_{\max}^{1/2} \Delta T_{\max}^h \quad (14)$$

Los parámetros A y h se han obtenido por regresión del proceso de calibración.

El algoritmo de detección de bordes de Canny utiliza un filtro basado en la primera derivada de una gaussiana. Ya que es susceptible al ruido presente en datos de imagen sin procesar, la imagen original es transformada con un filtro gaussiano. El resultado es una imagen un poco borrosa respecto a la versión original. Esta nueva imagen no se ve afectada por un píxel único de ruido en un grado significativo. El borde de una imagen puede apuntar en diferentes direcciones, por lo que el algoritmo de Canny utiliza cuatro filtros para detectar horizontal, vertical y diagonal en los bordes de la imagen borrosa. El operador de detección devuelve un valor para la primera derivada en la dirección horizontal (G_y) y la dirección vertical (G_x). A partir de éste, se pueden determinar el gradiente de borde y la dirección.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



4.3.2.2. Frecuencia límite

En el dominio frecuencial, los métodos de inversión se basan en una relación directa entre la profundidad z , y la difusividad térmica μ , evaluada a la frecuencia límite f_b , siendo la frecuencia límite, aquella en la que el contraste de fase es suficiente para que un defecto sea visible.

La longitud de difusión térmica expresada por:

$$\mu = 2\alpha/\omega \quad (15)$$

Dónde $\alpha = K/\rho C_p$ es la difusividad térmica y $\omega = 2\pi f$ la frecuencia angular; se puede utilizar para ajustar los datos experimentales de la siguiente forma:

$$z = C_1 \sqrt{\frac{\alpha}{\pi f_b}} + C_2 \quad (16)$$

Siendo C_1 y C_2 las constantes de regresión.

Se ha observado que, $C_1 = 1$ cuando se utilizan datos de amplitud, mientras que los valores obtenidos cuando se trabaja con la fase están en el rango $1,5 < C_1 < 2$. El problema de inversión en este caso, se reduce a la estimación de f_b a partir de la fase.

Un ejemplo de esto se muestra en la figura 34. Ésta presenta los perfiles de fase para los tres defectos marcados como A, B, y C. Los tres defectos se encuentran a la misma profundidad (1 mm) y poseen la misma área. Debido a que la difusión de calor es una función de la geometría de los defectos, la intensidad de la fase es diferente para los tres defectos. Sin embargo, la frecuencia límite f_b es la misma para los tres defectos, lo que permite realizar una cuantificación a través de la ecuación anterior.

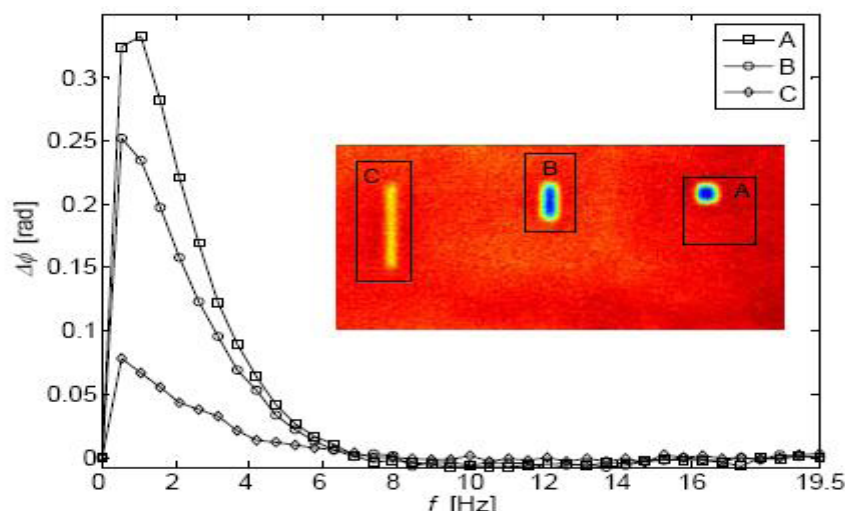


Figura 34. Curvas de evolución de la fase para diferentes regiones defectuosas.



4.3.2.3. Modelos estadísticos

El comportamiento estadístico de las regiones de interés, tales como los fondos y los defectos también se aprovecha para la clasificación de profundidad. El punto de partida es que la temperatura, la fase y la amplitud se pueden modelar bajo algunas circunstancias (como en el caso de las fuentes de ruido "blanco") por un proceso aleatorio de Gauss ¹⁰.

Primero se realiza una calibración o "fase de aprendizaje", en la que se dispone de imágenes con defectos localizados y de profundidad conocida, de manera que el medio m y la desviación estándar σ , se calculan en cada incremento de tiempo y para cada zona de interés. En la posterior etapa de análisis, los píxeles desconocidos se analizan y se calculan las probabilidades individuales de un píxel dado con m y σ , para ser parte de una clase dada. Suponiendo estadísticamente sucesos independientes, las probabilidades individuales (en diferentes incrementos de tiempo) se pueden multiplicar entre sí para formar una probabilidad global. De esta forma la regla es sencilla: la más grande gana.

4.3.2.4. Defectos de tamaño

Los defectos de tamaño normalmente se consiguen mediante la extracción del contorno de la anomalía detectada ya sea en la pendiente de contraste máximo o, en un pico máximo de contraste térmico. Existe una técnica iterativa que consiste en extraer el contorno de cada imagen (contraste), de un tamaño la mitad de ancho que el máximo de la amplitud. Se establece una trama de tamaño función de la raíz cuadrada del tiempo y la línea extrapolada del momento inicial dará paso a una estimación del tamaño del defecto.

¹⁰ Proceso de Gauss: proceso estocástico que genera muestras en el tiempo de manera tal que no afecte la finitud de una combinación lineal que se distribuirá normalmente.



Capítulo 5. Usos y Aplicaciones de la Termografía

Como se ha descrito anteriormente la termografía infrarroja es un método de ensayo no destructivo muy flexible debido a que no implica ningún contacto entre la pieza a inspeccionar y el equipo que realiza la inspección. Por esta razón existen numerosas aplicaciones donde la termografía puede ofrecer importantes beneficios. Se enumerarán los usos y aplicaciones que comúnmente se le dan a la termografía, y a continuación se hará el estudio detallado de algunas de ellas.

Usos y aplicaciones de la termografía infrarroja en estructura de edificios

- Inspección de pérdida de energía térmica para edificios (plantas, maquiladoras, hoteles, edificios gubernamentales, etc.)
- Evaluación de la humedad para edificios (plantas, maquiladoras, hoteles, edificios gubernamentales).
- Inspecciones en pisos sobrecalentados, localización de fugas y distribución de temperatura.
- Localización de aislamiento dañado o escaso.
- Identificación de pérdidas y fugas de energía.
- Localización de cables, conductores o tuberías sobrecalentados.

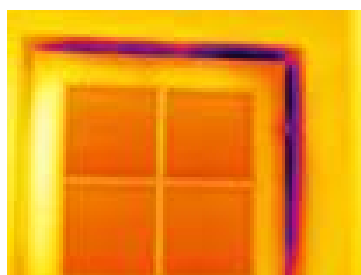


Figura 35. Ventana sin sellar.



Usos y aplicaciones de la termografía infrarroja en sistema de techado

- Detección de goteras para edificios y naves industriales.
- Identificación de partes de techos dañadas por el agua, rápida y eficientemente.
- Documentación de problemas antes de que las garantías u obligaciones expiren.

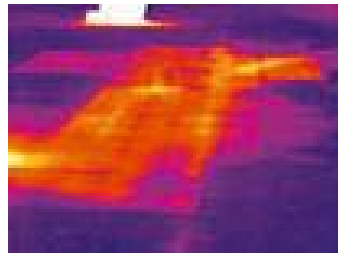


Figura 36. Tejado plano con filtración.

Usos y aplicaciones de la termografía infrarroja en sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado

- Evaluación de equipos de aire acondicionado y calefacción.
- Pérdidas de frío en cuartos refrigerados.
- Detección de fugas en el aislamiento en equipos de refrigeración.

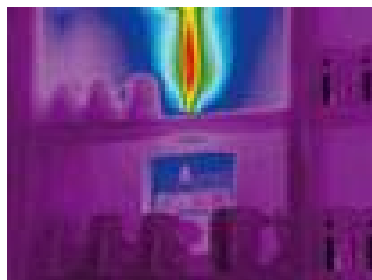


Figura 37. Calentador de gas construido muy cerca de la pared (riesgo de incendio).



Usos y aplicaciones de la termografía infrarroja en aplicaciones ambientales

- Localización de áreas de acumulación de desechos antiguos.
- Localización de tanques bajo tierra en zonas industriales.
- Localización de daños de arquitecturas y/o esculturas.

Usos y aplicaciones de la termografía infrarroja en energía eólica

- Comprobación de huecos y fallos de pegado en la estructura de la concha de la pala.
- Revisión de las palas en los parque eólicos comprobando que no hayan sufrido daños bajo condiciones climáticas adversas.
- Vigilancia de almacenamiento de material.

Usos y aplicaciones de la termografía infrarroja en energía solar

- Control del proceso de fabricación antes y después de la laminación de las células fotovoltaicas.
- Comprobación del intercambio de líquidos en las células térmicas.
- Mantenimiento de los huertos solares, verificando que no tienen ninguna célula muerta que disminuya el rendimiento del mismo.

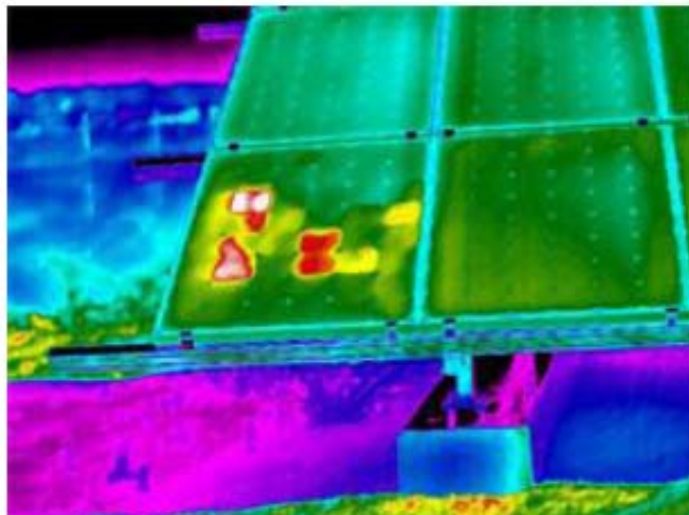


Figura 38. Células fotovoltaicas defectuosas en una placa solar.



Usos y aplicaciones de la termografía infrarroja en aplicaciones aéreas

- Inspecciones de aéreas eléctricas de alto voltaje para líneas de transmisión.
- Búsqueda de supervivientes, rescate y salvamento, naufragios.

Usos y aplicaciones de la termografía infrarroja en Biología y Medicina

- Detección temprana de cáncer de piel.
- Técnica complementaria para el diagnóstico de cáncer de mama.
- Estudio y localización exacta de puntos de dolor, medida de los mismos y ayuda en su diagnóstico.
- Monitorización evolutiva de la efectividad de anestesia local en extremidades, y consecuente reducción de tiempo y riesgo.
- Localización rápida de patologías en músculos y huesos, y en sistemas cardiovascular o neurológico.
- Análisis de la condición funcional de los tejidos blandos lesionados para elegir el tratamiento mejor y más apropiado.
- Estudio de la implicación de raíces nerviosas en patologías, incluyendo nervios raquídeos.
- Valoración de gravedad de quemaduras.
- Evolución de injertos y úlceras.
- Cirugía de corazón abierto.
- Pruebas “cold stress”.
- Documentación objetiva sobre el tratamiento más adecuado en diversas dolencias.
- Medicina deportiva.

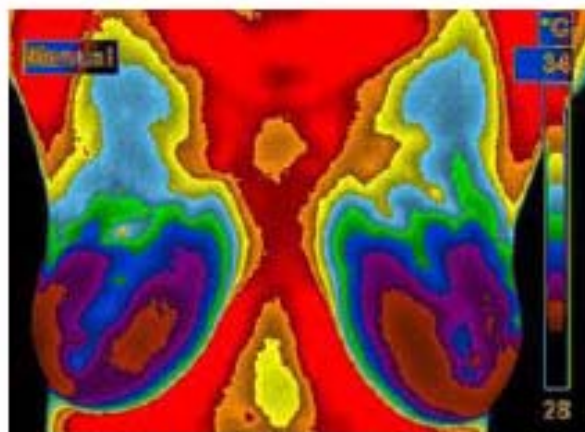


Figura 39. Informe vascular.



Usos y aplicaciones de la termografía infrarroja en Radiometría

- Estudios de imágenes térmicas procedentes de objetos enterrados.
- Huellas térmicas de minas enterradas, etc.

Usos y aplicaciones de la termografía infrarroja en aplicaciones industriales

- Trabajos de conservación y restauración.
- Mantenimiento eléctrico.

Usos y aplicaciones de la termografía infrarroja en aplicaciones varias

- Localización de incendios de baja intensidad en bosques densos.
- Localización de personas perdidas.
- Localización de personas atrapadas en incendios de edificios así como poder caminar a través del humo.



5.1. Aplicaciones de la Termografía en Edificios

El objetivo de la termografía en edificios es evaluar sus condiciones de aislamiento. Permite analizarlos térmicamente y detectar fallas de aislamiento, fugas de calor, y así mejorar la eficiencia energética del edificio.

La coyuntura actual, definida por un aumento constante del precio de los combustibles fósiles y por una preocupación creciente por las emisiones de CO₂ a la atmósfera y sus posibles consecuencias sobre el clima en nuestro planeta, hace que se ponga especial atención en el ahorro energético en el sector de edificación considerando la eficiencia energética y haciendo un uso racional de los materiales y recursos.

No solo criterios económicos y ecológicos provocan esta necesidad. Ante la exigencia de las normativas de los diferentes gobiernos, acuciados por los acuerdos internacionales, los criterios legales se han convertido en un factor importante para evaluar las condiciones de aislamiento de los edificios.

El factor clave sobre el que incidir es la forma en la que se construyen edificios y lo eficiente de su climatización, tanto en su calefacción como en su refrigeración. Sin embargo, la mayoría de emisiones provienen de edificios antiguos. Un edificio mal aislado necesitará mucha más energía para mantener la temperatura interior que otro con un adecuado aislamiento, tanto más cuanto mayor sea el gradiente de temperaturas respecto al exterior. En estos casos se produce un gran derroche en forma de pérdida de energía de manera ineficiente, y por ende, un gran derroche económico. Por lo tanto, mientras no se mejore la eficiencia energética de este conjunto de edificios no podremos hablar de una reducción sensible del consumo de energía en el sector de la edificación.

Puesto que a menudo no se dispone de detalles constructivos ni planos de instalaciones que permitan conocer con exactitud el edificio ya construido ni sobre qué puntos podemos incidir de manera más efectiva, mejorar su eficiencia energética requiere un estudio bastante laborioso.

En este contexto, la termografía puede ser tremendamente eficaz para conseguir grandes resultados. Precisamente, la termografía no tuvo un desarrollo importante hasta que se produjo la crisis energética de los años 70, cuando la necesidad de reducir las pérdidas de calor en los edificios era una prioridad debido al alto coste de la energía necesaria para climatizarlos.

La termografía no solo permite comprobar la capacidad aislante de los materiales utilizados para tal fin, sino que también permite determinar la calidad del diseño y el montaje de los mismos. Las inspecciones, tanto en estructuras internas como externas, muestran la ubicación, la forma y el grado de protección de estos aislantes y la termografía permite además a los responsables documentar que han cumplido con la legislación vigente en este aspecto.

Hay varios factores que determinan la eficiencia energética de los edificios, sin embargo uno de los más destacados es la composición de fachadas y cubierta. Esta eficiencia energética, y por lo tanto el consumo de climatización, depende de las infiltraciones, los puentes térmicos o el estado de aislamiento.

Proyecto: *Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.*

Autor: *Francisco Javier Villaescusa Egea.*
Director: *Federico López-Cerón de Lara*



Un aislamiento deficiente genera puentes térmicos, por los que se entienden aquellos puntos débiles existentes en los edificios desde el punto de vista térmico. En general, se crean en la unión de diferentes elementos estructurales (muros exteriores con forjados, pilares, carpinterías, ángulos, etc.) y su corrección exige técnicas constructivas específicas para cada caso. Suelen originar, además otros problemas como humedad, condensaciones, etc.

Otro punto débil en el aislamiento de edificios son las superficies acristaladas, que generalmente son los cerramientos a través de los cuales hay mayores fugas de calor. Para reducir estas pérdidas se suele recurrir al doble acristalamiento o a la doble ventana.

En la figura 40 se observan dos ejemplos de imágenes termográficas de edificios:

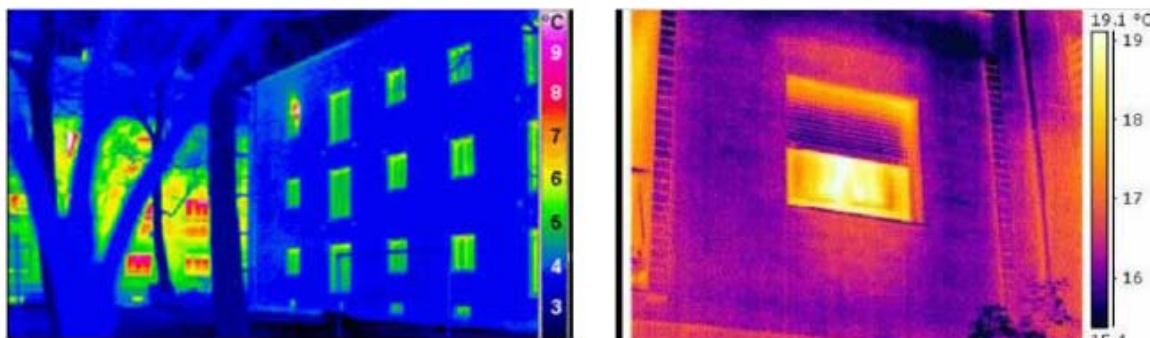


Figura 40. Termograma de la fachada de un edificio.

En dichas imágenes se puede ver que las ventanas están a una temperatura superior a la de la fachada. Esto es habitual en invierno, ya que el nivel de aislamiento no es el mismo y el flujo de calor a través del vidrio es superior al flujo a través de las paredes.

5.1.1. Objetivos

El abanico de posibilidades que ofrece la termografía para el sector de la edificación es muy amplio:

- Análisis de las condiciones de aislamientos.
- Localización de humedad interna.
- Localización de ingreso de aire hacia el interior.
- Evaluación de puentes térmicos internos y externos.
- Localización de humedad externa.
- Localización de pérdidas de aire.
- Localización de filtraciones y humedad remanente en cubiertas en general.
- Evaluación del síndrome de la casa enferma.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



- Localización de posible presencia de fisuras en paredes y techos.
- Ubicación de pérdidas de cañerías empotradas.
- Análisis de pavimentos.
- Control del proceso de secado en diversos materiales de obra, como soleras de hormigón, etc.
- Control e inspección de diversas instalaciones (electricidad, calefacción, refrigeración, etc.).

Las anomalías más importantes que se pueden determinar se presentarán, principalmente, en las paredes, ventanas y en la cubierta del edificio. Por otro lado, se pueden presentar anomalías de menor índole, pero que no se tendrán que despreciar, debidas, por ejemplo, a pérdidas energéticas por mal aislamiento en las canalizaciones de los sistemas de calefacción y aire acondicionado.

La mayoría de los defectos o deficiencias en las paredes se identifican como resultado de las diferencias en la relación de transferencia de calor de forma conductiva a través de la pared, también por calentamiento o enfriamiento debido al flujo de aire convectivo, o a la combinación de ambos fenómenos. A continuación se mencionarán algunos de los defectos más típicos:

- Falta de aislamiento.
- Desplazamiento de aislamiento.
- Humedades.
- Puentes térmicos.
- Fugas de aire.

5.1.2. Factores que afectan a la medida

La localización e identificación de zonas de pérdidas de calor causadas por defectos de diseño o construcción, están basadas principalmente en el mapa térmico que ofrece una termografía. Este mapa se ve afectado de forma directa o indirectamente por una serie de factores que se recogen a continuación y que van a ser determinantes a la hora del análisis e interpretación de los datos obtenidos.

- Emisividad.
- Transmisión atmosférica.
- Temperatura ambiente.
- Temperatura atmosférica.
- Reflexión o absorción de radiación desde fuentes de calor naturales y artificiales.
- Procesos de convección.
- Efectos de presurización y despresurización mecánica del edificio

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



5.1.3. Metodología

A continuación, se mostrarán las pautas a emplear para la realización de una inspección termográfica, basadas principalmente en el seguimiento de la normativa ISO (International Organization for Standardization) y ASTM (American Society For Testing and Materials).

El inicio de una inspección termográfica sobre un edificio puede comprender los siguientes pasos que se citan a continuación:

- Información previa a la inspección termográfica del edificio y de los alrededores. Se deberán tener datos de:
 1. los materiales de construcción del edificio (propiedades térmicas, emisividades, etc.).
 2. datos sobre las condiciones meteorológicas del entorno (presión, temperatura atmosférica, humedad, velocidad y dirección de viento, temperatura ambiente) en las diferentes épocas del año.
 3. planos del edificio para identificar los sistemas de calefacción, salidas de humos, aparatos de aire acondicionado, etc., que pudieran influir en el análisis e interpretación de los resultados.
- Las especificaciones y capacidades del equipo de termografía se deberán tener en cuenta para cumplir los criterios de resolución espacial (tamaño de píxel) y resolución térmica MRTD (Minimum Resolvable Temperature Difference).
- El sensor debe operar con una resolución espectral mayor de $2\mu\text{m}$ y deberá ser capaz de grabar imágenes en tiempo real con una resolución espacial lo suficientemente adecuada para poder detectar zonas mínimas defectuosas o zonas de posibles pérdidas.
- Determinación de la distribución de temperatura superficial de una parte del edificio. Esta distribución la pueden dar las termografías proporcionadas por el sensor infrarrojo previamente calibrado, y al que se le ha introducido los parámetros adecuados para una correcta lectura de la temperatura. A su vez se podrá instrumentar con termopares, también previamente calibrados, algunas partes de la zona a inspeccionar del edificio para tener datos de referencia de las superficies analizadas.
- Obtención y verificación de una zona de mal funcionamiento térmico, es decir, una zona donde se ha identificado alguno de los problemas que se buscan, como pueden ser: falta de aislamiento, fugas de aire, manchas de humedad, etc.
- Se deberán medir los parámetros atmosféricos, esto se deberá hacer 24 horas antes del comienzo de la inspección termográfica y durante la misma.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Tener en cuenta, por ejemplo, la presencia de lluvia antes de la inspección, ya que es importante que la cubierta esté en las condiciones adecuadas para la inspección. Al mismo tiempo la superficie a inspeccionar debería de estar libre de nieve, manchas de agua, escombros, etc. que pudieran impedir una adecuada inspección.

- Determinar inmediatamente antes de comenzar la inspección termográfica, las temperaturas en el interior y exterior del edificio.

Los ensayos en la cubierta es conveniente realizarlos de madrugada, ya que a esa hora es cuando se pondrán de manifiesto de forma más claras las posibles áreas defectuosas debidas a las observaciones que se han comentado en el punto anterior.

Basado en la norma ISO que se ha mencionado, un informe termográfico deberá contener la siguiente información:

- Descripción, lo más detallada posible del edificio a inspeccionar.
- Orientación geográfica del mismo y descripción de los alrededores (paisaje, vegetación, edificios, etc.).
- Descripción de los materiales utilizados en la construcción del edificio, así como datos de emisividad y características térmicas de los mismos.
- Especificación del equipamiento utilizado en el ensayo.
- Fecha y hora en la que se ha realizado la inspección, identificando claramente las zonas inspeccionadas.
- Medidas recogidas por los sensores de presión, temperatura, dirección y velocidad de viento, radiación solar y humedad atmosférica desde 24 horas antes hasta el final de la inspección.
- Cada termografía de la zona inspeccionada deberá ir acompañada de una fotografía de la misma para una total identificación.
- Análisis.
- Interpretación de los resultados del análisis.
- Conclusiones.



5.1.4. Identificación de defectos

A continuación, se expondrán algunas termografías tomadas en edificios y se comentarán algunos de los defectos encontrados.

5.1.4.1. Aislamiento (puentes térmicos y deficiencias de aislamiento)

La inspección termográfica de una fachada orientada al norte de un edificio de construcción reciente (figura 41) permite detectar los puentes térmicos que constituyen los forjados, las cajas de persiana no aisladas y los balcones.

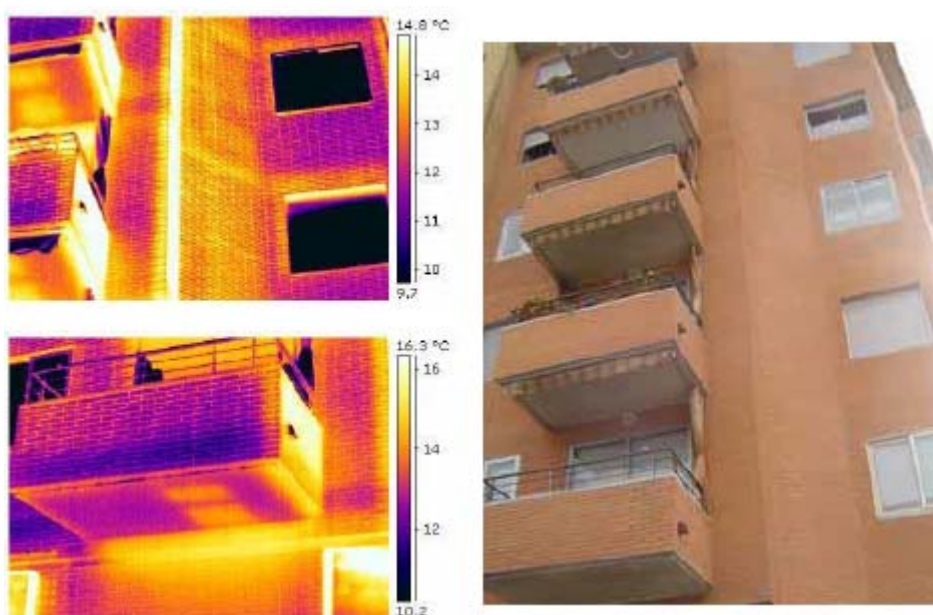


Figura 41. Termograma de la fachada de un edificio.

La figura 42 es la imagen termográfica de un falso techo en el que se detectan algunos paneles sin aislar. En este caso se trataba de la zona en la que no fue posible técnicamente colocar la manta aislante al cerrar el último panel.

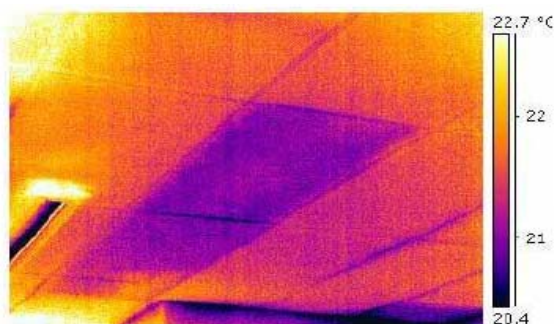


Figura 42. Termograma de un falso techo.



5.1.4.2. Fugas de calor e infiltraciones de aire.

La parte de la cubierta es una zona muy crítica en la inspección termográfica ya que la superficie suele presentar muchos contrastes diferentes debido, principalmente, a cambios de materiales, repintado de zonas, suciedad, etc., que pueden hacer que una termografía sea mal interpretada.

Existen cubiertas que no están totalmente cerradas, en ellas se instalan en alguna ocasión claraboyas por motivos de luminosidad y diseño. Este tipo de cubiertas pueden también presentar problemas de pérdidas energéticas fundamentalmente en la zona de unión entre la cubierta y la claraboya, y a través del mismo material de ésta última como se puede observar en la termografía de la figura 43.

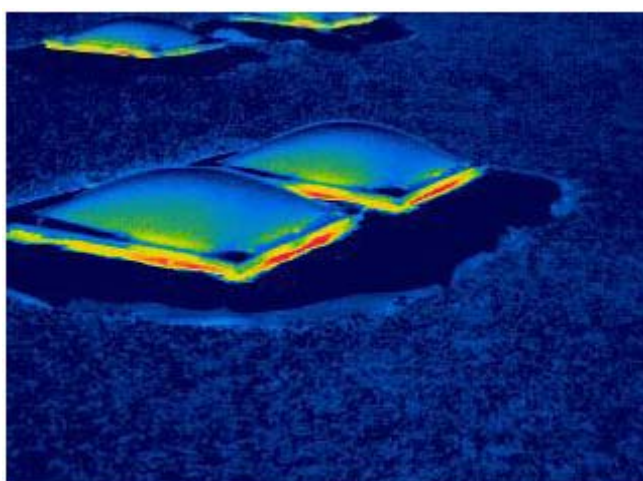


Figura 43. Claraboyas en la zona de la cubierta. Las columnas o pilares de muchos edificios pueden ser fuentes importantes de pérdidas de calor, y por ello se deberá poner especial cuidado a la hora del diseño y en la selección de los materiales.

En la figura 44, se observan las infiltraciones de aire frío que se producen en una vivienda a través de las uniones entre techos y paredes, donde se rompe la continuidad del aislamiento, así como a través de los zócalos.

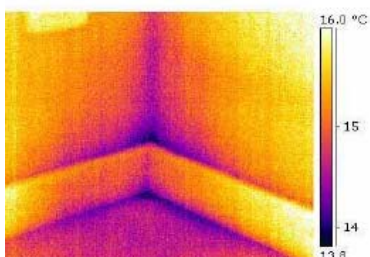
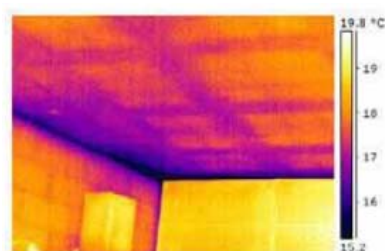


Figura 44. Infiltraciones de aire frío en una vivienda.



La termografía también revela las pérdidas de calor o infiltraciones de aire a través de los marcos de las ventanas, las inserciones de los marcos en las paredes, o bajo las puertas, como en las imágenes de la figura 45.

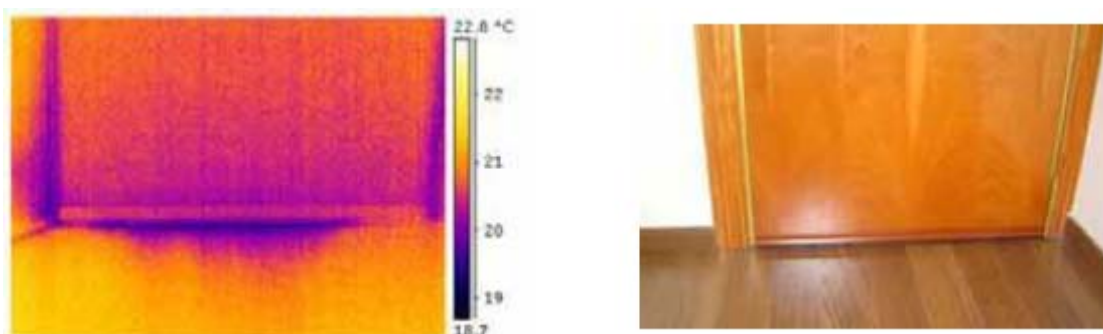


Figura 45. Termograma de una puerta.

Las canalizaciones de los sistemas de aire acondicionado y calefacción muchas veces presentan problemas de aislamiento y son importantes las pérdidas térmicas que se producen en ellas. La termografía de la figura 46 muestra este caso, en ella se identifican varios puntos como áreas de pérdidas, prácticamente a lo largo de toda la canalización.

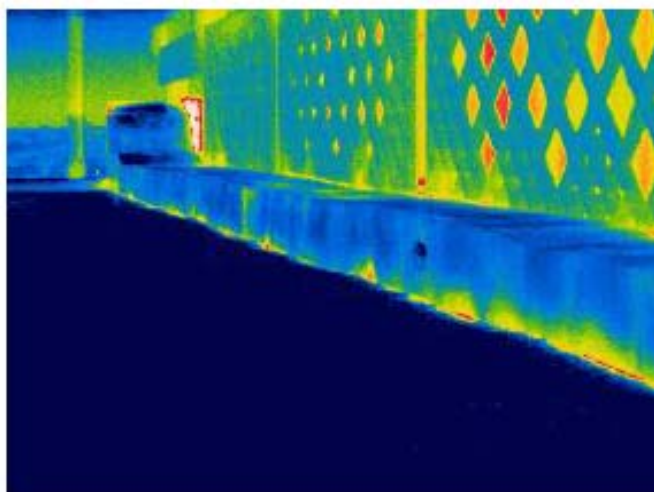


Figura 46. Pérdidas a través del tubo de canalización.



5.1.4.3. Detección de humedades y daños por agua.

La figura 47 representa la comprobación de la presencia de humedad en un techo, que estaba provocando el levantamiento del yeso. Posteriormente se detectó la existencia de una ligera fuga en una conducción situada en la cubierta sobre la estancia en cuestión.

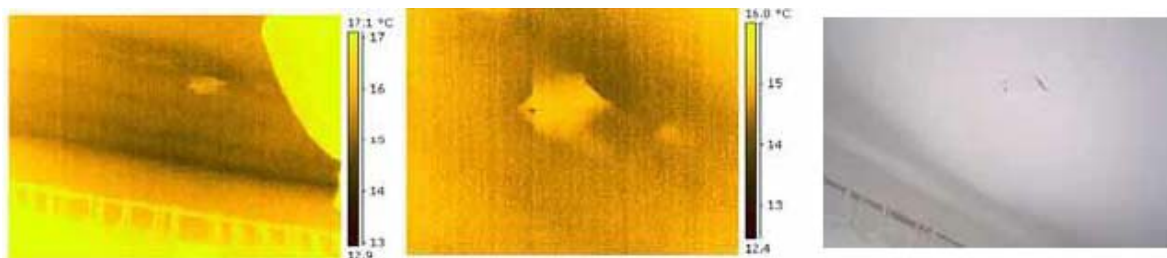


Figura 47. Termograma de un techo con humedad.

Las propiedades térmicas del agua permiten detectar las humedades mediante termografía, sobretodo bajo unas determinadas condiciones ambientales.

5.1.4.4. Detección de materiales y estructuras.

En la primera vivienda que se puede ver en la figura 48 arriba, se detectaron las vigas (viguetas de hormigón) y en el segundo caso se puede visualizar el forjado reticular que forma la cubierta y los bloques que conforman el muro.

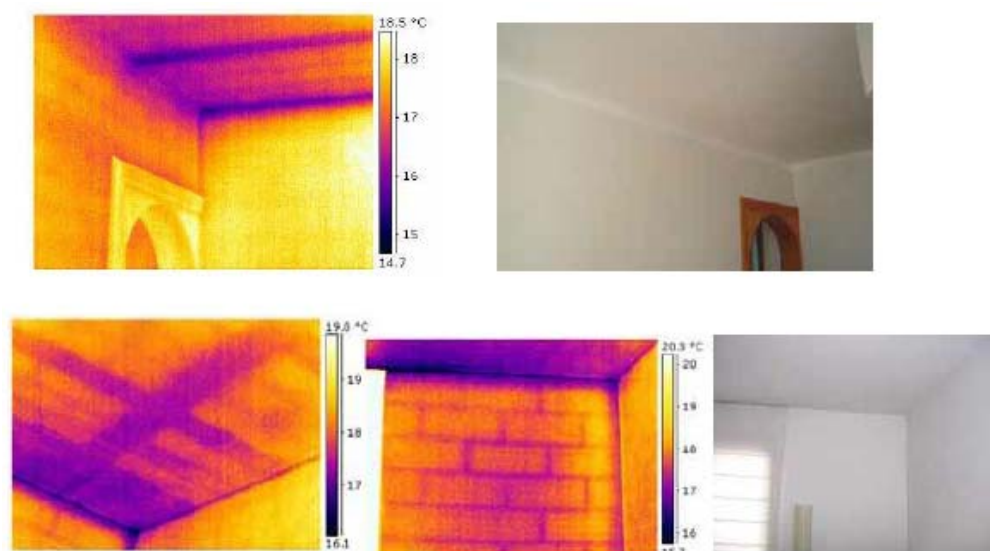


Figura 48. Termogramas de dos viviendas diferentes.



Es posible detectar materiales estructurales, o cambios debidos a reformas y construcciones anteriores, si la diferencia de material supone una diferencia de temperatura en superficie.

5.2. Termografía en Aplicaciones Ambientales.

Las aplicaciones del infrarrojo en el área de Medio Ambiente son básicamente llevadas a cabo con cámaras adaptadas para inspecciones aéreas (helicóptero - avión) o satelital.

Es claro que en muchos casos pueden utilizarse equipos a nivel del terreno. Dependiendo de la aplicación es la banda que uno debería elegir (NIR -MWIR -LWIR).

A continuación se detallan algunas de las aplicaciones ambientales de la termografía.

5.2.1. Localización de áreas de acumulación de desechos antiguos.

En las últimas décadas la contaminación se ha convertido en un asunto de gran importancia ya que entre otros muchos problemas genera sustancias radiactivas en el entorno. Esta contaminación puede proceder de radioisótopos naturales o artificiales.

Las fuentes naturales provienen de ciertos elementos químicos y sus isótopos. Son las responsables del 80% de la dosis recibida por las personas en el mundo, el resto proviene de fuentes médicas como los rayos X. Bajas dosis de radiación no son peligrosas, el problema ocurre cuando una persona está expuesta a estas dosis por un tiempo prolongado.

Existen muchos agentes contaminantes, como sustancias químicas, residuos urbanos, petróleo y sus derivados, radiaciones ionizantes. Todos estos producen muchas enfermedades y daños a la naturaleza. Además existen muchos contaminantes gaseosos que son generadores de las lluvias ácidas, el agujero en la capa de ozono y el calentamiento global.

Con las cámaras termográficas se puede rastrear acumulaciones de desechos antiguos que han sido abandonados o enterrados con el paso del tiempo detectando el calor que emiten estos mismos.



5.2.2. Localización de tanques bajo tierra en zonas industriales.

Los tanques subterráneos de almacenamiento (figura 49) se utilizan en muchos sectores de la industria para el almacenamiento de productos de petróleo.



Figura 49. Tanque subterráneo de almacenamiento.

La filtración de las sustancias que almacenan estos tanques enterrados es causa de una creciente preocupación de seguridad pública y ambiental. Millones de tanques enterrados se han instalado en el mundo durante más de 60 años. Muchos de estos tanques están hechos de acero al carbón sin protección y pueden corroerse. Esta corrosión penetra eventualmente en el tanque causando una filtración y los productos petroleros ingresan en la tierra. Esto puede dar origen a:

- Que vapores volátiles que ingresan a los sótanos y desagües ocasionando riesgos de salubridad y explosión.
- Que las filtraciones pueden introducirse y causar una contaminación considerable del agua subterránea.
- Que las filtraciones contaminarán el suelo y el agua de la superficie.

Sólo en Estados Unidos existe un estimado de 2.5 millones a 5 millones de tanques subterráneos. Más de la mitad de éstos contienen gasolina cuyos constituyentes químicos podrían incluir el plomo, benceno, tolueno, bibromuro de etileno, y bicloruro de etileno. Un estimado de un millón de tanques subterráneos tienen más de 16 años y alrededor de 700,000 se estiman estarían filtrando (aproximadamente el 25 %). Si intentásemos descubrir la localización exacta de un tanque de almacenamiento subterráneo podríamos emprender la búsqueda con las cámaras termográficas y localizar el tanque. Si ese tanque desprendiese alguna sustancia toxica que emitiese una temperatura distinta a la del ambiente podría llegar a detectarse que hay una fuga.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



5.2.3. Detección de incendios forestales.

La detección de los incendios forestales es fundamental a la hora de su extinción. Para ello se desarrollan técnicas complementarias a las ya existentes. Entre estas nuevas técnicas se encuentra la detección de incendios mediante cámara termográficas. Con ellas se pretende conseguir una detección temprana de los focos de incendios y que así pueda efectuarse su seguimiento, valiosa herramienta a la hora de la extinción.

5.2.3.1. Descripción del sistema.

El sistema para la detección de incendios forestales mediante termografía, consta de cámaras térmicas y cámaras CCTV (Circuito Cerrado de Televisión). Las cámaras (figura 50 -2 y 3) se encuentran instaladas en una torre metálica (Figura 50-1), sobre una plataforma (Figura 50-2), mediante una pieza que soporta a ambas (Figura 50-4). Acompañando a este sistema de vigilancia se instala también un sistema de georreferenciación y los equipos necesarios para la transmisión de la información por control remoto.



Figura 50. Sistema de vigilancia.

Estas torres están dotadas de un cámara dual (visión térmica y visión normal), la cual se encuentra en estado de observación de forma continua y en labores de rastreo perimetral de 360°.

El sistema permite la rápida detección de incendios en entornos remotos que difícilmente pueden ser localizados en tiempos razonables mediante la simple visualización. Y puede hacerlo incluso cuando las condiciones meteorológicas son adversas. Así, en situaciones de niebla densa, humo u oscuridad, el sistema continúa

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



operativo, ya que las cámaras infrarrojas no ven mermadas su capacidad de trabajo en tales situaciones. Cuando el sistema detecta alguna anomalía, que vendrá dada en forma de un aumento de la temperatura, la cámara que la ha generado capta desde ese instante imágenes concretas de la alarma, las transmite y las almacena de forma automática, por si posteriormente han de ser consultadas.

Es entonces cuando el responsable del sistema puede tomar el mando del mismo por control remoto, localizar la imagen, fijarla y ver el posible incendio forestal en tiempo real. Es posible conectarse también con las cámaras CCTV y térmica para controlarlas. Esto permite observar la ubicación de una alerta, comprobar el área de visibilidad de la cámara y los parámetros que mejoren la visión de la cámara térmica en un incendio, así como distinguir el foco de inicio y la evolución del mismo. Además, el sistema facilita las labores de extinción gracias al seguimiento térmico y en directo de las diferentes áreas del incendio, de los puntos calientes que deja atrás (tocones), así como su georreferenciación cartográfica. También permite efectuar un seguimiento de las cuadrillas y otros medios que se encuentran en labores de extinción, de manera que se puede orientar el desarrollo de los trabajos a la vez que se convierte en un apoyo de gran valor a la hora de velar por la seguridad de las personas que en ese momento se encuentran en el siniestro.

En la figura 51, se observa una imagen obtenida con el sistema de seguridad descrito.

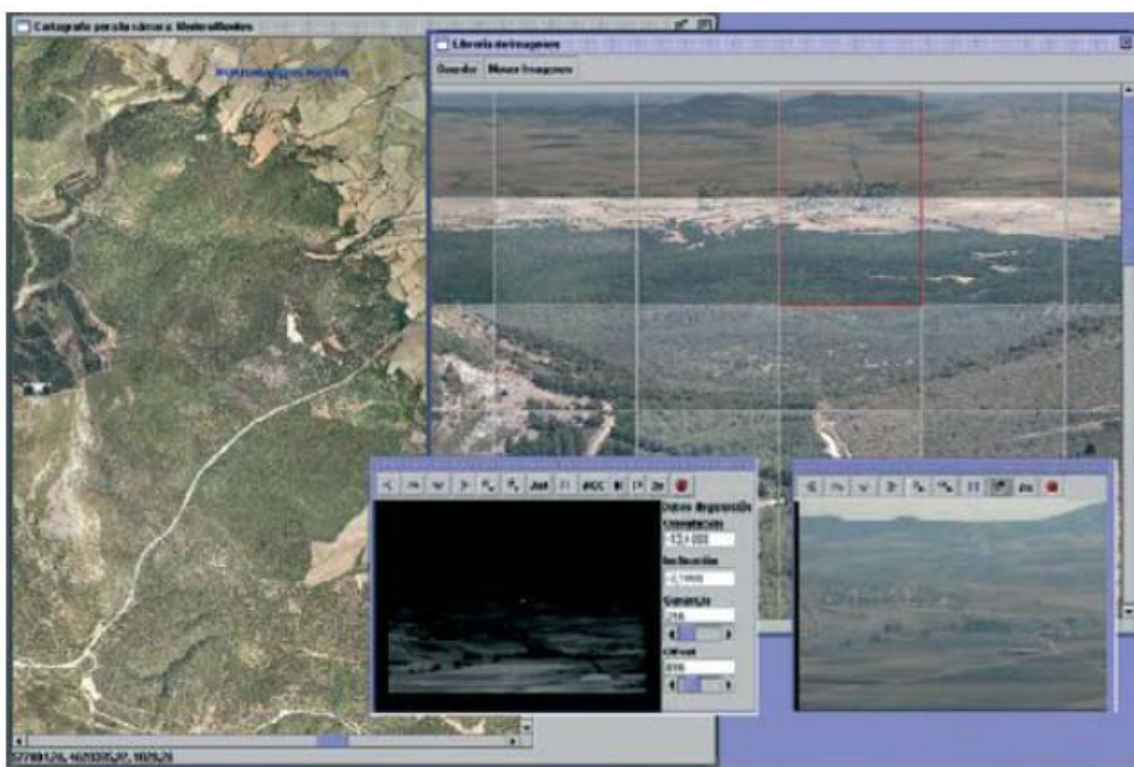


Figura 51. Imagen aérea de un terreno con peligro de incendio.



5.2.4. Control de la Calidad del Aire.

Mediante la termografía es posible garantizar la calidad del aire o el funcionamiento correcto de los sistemas internos de eliminación de químicos.

Además, se pueden detectar docenas de componentes orgánicos volátiles (COV), que podrían pasar desapercibidos. Por ejemplo en una planta de fabricación de neumáticos, una fábrica de materias primas plásticas o una empresa de gas natural, la termografía infrarroja detectaría un gas en particular y lo proyectaría como una nube de vapor o humo en la pantalla de la cámara.

5.2.5. Otras Aplicaciones Ambientales.

Además de las aplicaciones anteriormente descritas, la termografía infrarroja se aplica para:

- Asentamiento de basurales.
- Asentamiento y control de plantas de energía & industrias.
- Avalúo del hábitat de las faunas.
- Control de la deforestación.
- Control de polución del agua.
- Control de descarga de efluentes en sistemas de desagüe.
- Control de descarga de efluentes en canales de agua potable /ríos/mares/lagos.
- Control de descarga de efluentes en drenajes de agua de lluvia.
- Control de descarga de gases calientes a la atmósfera (chimeneas).
- Controlar efectos medioambientales ocasionados por el hombre.
- Derramamientos de aceites & rastros de contaminantes.
- Determinación de modelos de la turbiedad & circulación en zonas costeras.
- Determinación de los efectos de los desastres naturales.
- Erosión de las playas.
- Evaluación de inundaciones y deslizamientos de tierra.
- Mapeo de las características espectrales de los espejos de agua.
- Medida de rasgos de los glaciares.
- Medida del sedimento & modelos de la turbiedad del agua.
- Meteorología.
- Procesos de seguimiento del derretimiento de la nieve.
- Riesgos medioambientales.
- Temperatura de los océanos.



5.3. Termografía en Energía Eólica.

Al igual que en la energía solar el mantenimiento predictivo y preventivo de los aerogeneradores eólicos es muy importante. Tiene como objetivo la reducción de costes de intervención y movilización de las turbinas eólicas. Gracias al mantenimiento preventivo, las paradas de mantenimiento se programan y optimizan con el fin de intervenir en piezas antes de que se produzca una avería.

Además las paradas de producción de energía eólica se anticipan para reducir su duración y sus costes.

Una de las tareas fundamentales en el mantenimiento predictivo y preventivo de los aerogeneradores eólicos es el análisis termográfico de los mismos. Mediante la termografía se pueden identificar fuentes de energía infrarroja emitida por la turbina eólica. Esta técnica permite realizar inspecciones sin interrumpir la producción de electricidad eólica, a distancia y con toda seguridad. Permite detectar sobrecalentamientos anormales de los elementos mecánicos y eléctricos y paliar el incidente de manera preventiva.

5.3.1. Aerogeneradores.

Un aerogenerador es un generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento (turbina eólica). La energía cinética del aire en movimiento, proporciona energía mecánica a un rotor hélice que, a través de un sistema de transmisión mecánico, hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador trifásico, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica.



Figura 52. Aerogenerador de eje horizontal.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



5.3.2. Objetivos.

Los defectos de fabricación pueden causar problemas durante el funcionamiento normal. Por ejemplo, las palas pueden desarrollar grietas en los bordes, cerca del centro o en las puntas. Por ello, las palas del rotor de fibra de vidrio se consideran como el elemento más vulnerable de la turbina eólica.

Los discontinuidades de fabricación en las palas del rotor se pueden resumir en delaminaciones, fallas adhesivas y zonas pobres de resina.

A continuación se enumeran algunos defectos específicos en zonas concretas:

- Piel / adhesivo: se trata de una mala cohesión entre la piel del laminado (fibra de vidrio) y el epoxi ¹¹, o falta de epoxi.
- Adhesivo / larguero principal: esto es cuando no hay cohesión entre el adhesivo y el larguero principal.
- Delaminación en el larguero principal.
- Amortiguación alta en la piel o larguero laminado principal, que podrían ser causados por la porosidad o el cambio del espesor del laminado.

5.3.3. Metodología.

Una de las partes más importantes de un aerogenerador es la turbina eólica. Las turbinas eólicas incorporan muchos componentes mecánicos y eléctricos diferentes. Como los de cualquier otro equipo, estos componentes son vulnerables al desgaste y se pueden romper. Esto no sólo puede provocar costosos tiempos de inactividad, sino también accidentes peligrosos.

¹¹ Resinas epoxídicas: tipo de adhesivos estructurales o de ingeniería. Sirven para pegar gran cantidad de materiales y se utilizan en la construcción de aviones, embarcaciones, automóviles, bicicletas, esquís, etc.

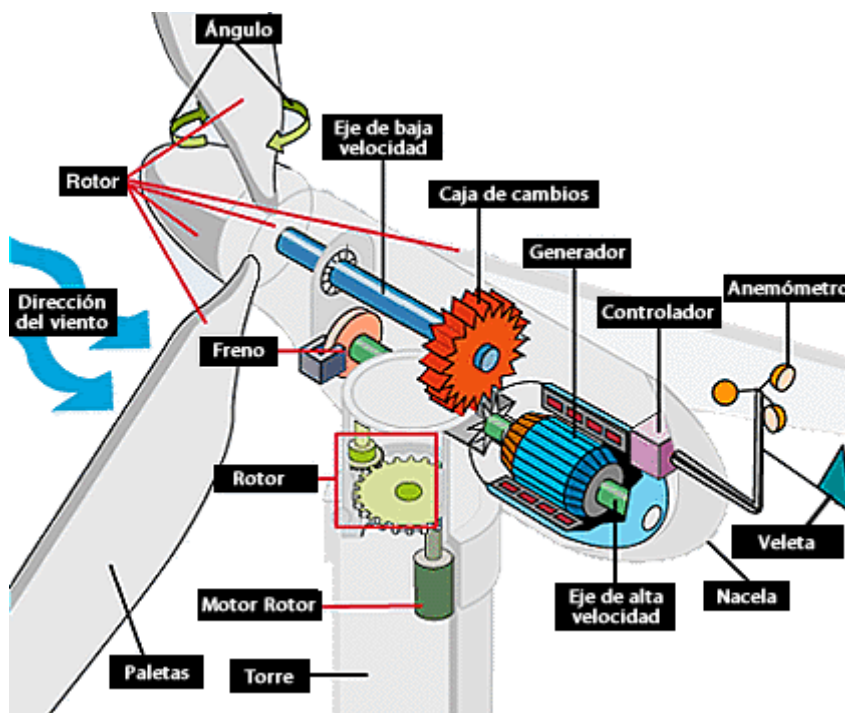


Figura 54. Turbina eólica.

5.3.3.1. Inspección termográfica de las palas del rotor.

La pala del rotor es la parte principal de la turbina eólica. Es una construcción de peso ligero que tiene que soportar cargas pesadas de viento y condiciones climatológicas duras. Hoy en día, la mayoría de las palas están hechas de dos carcasas de fibra de vidrio reforzadas con plástico y pegadas entre sí.

Generalmente, por razones de rigidez, se introducen diferentes tipos de mástiles dentro de la pala. Las juntas de esta unión son las partes potencialmente vulnerables o débiles de la construcción.

Durante su vida útil, las palas del rotor sufren diferentes cargas debido a las fuerzas gravitatoria, centrífuga y aerodinámica. Además sufren diferentes situaciones de estrés que pueden provocar varios tipos de fallos, como delaminaciones o grietas. Para evitar los fallos, las palas han de ser inspeccionadas regularmente mediante ensayos no destructivos.

Las juntas de adhesión son puntos críticos en la estructura de la pala por lo que su inspección ha de realizarse con especial cuidado. Los escáneres infrarrojos se usan para examinar la pala en toda su longitud, midiendo exactamente los mismos puntos cada vez y detectar delaminación y microfracturas. La técnica más comúnmente usada en estos casos es la termografía de pulso (ver capítulo 3 Procedimientos de Obtención). El escáner puede ver a través del laminado y examinar la junta adhesiva. Graba las diferencias de temperatura en el adhesivo, identifica posibles fallos y toma una serie de fotografías.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Si hay alguna duda en algún punto, se puede señalar para analizarlo posteriormente usando procesamiento de imágenes. Si se encuentra algún fallo, casi siempre puede ser reparada inmediatamente.

La termografía infrarroja tiene el potencial de proveer técnicas de campo completo y sin contacto para la inspección de la turbina eólica. Para su aplicación a las palas de la turbina, la sensibilidad de la imagen térmica ha demostrado ser adecuada para el examen no destructivo durante las pruebas de fatiga, además, se cree que para palas in situ, las condiciones de carga de viento pueden ser suficientes para crear efectos detectables por imágenes térmicas.

Las cámaras usadas en estos casos han de ser lo más compactas posibles ya que las turbinas eólicas se encuentran a gran altura. Además el reducido espacio en la turbina eólica hace que no se tenga distancia suficiente para capturar partes más amplias de una vez por ello las lentes de gran angular ofrecen grandes ventajas.

5.3.3.2. Identificación de los defectos.

La observación de la pala del rotor, desde el interior o desde el exterior, durante o poco tiempo después del proceso de producción o durante la reparación, dará mucha información acerca de los posibles defectos internos. A continuación se muestran unos ejemplos.



Inspecciones Pasivas

Ejemplo 1:

La siguiente imagen (figura 55) muestra la cámara infrarroja durante una campaña de medición, observando el interior de la pala del rotor, todavía caliente.

La imagen termográfica (figura 55) muestra la distribución de temperatura dentro de la pala del rotor poco tiempo después de pegar entre sí las dos conchas que estaban separadas.

Las discontinuidades que se producen durante el encolado se pueden observar desde el exterior de la pala, ya sea en el borde de ataque (figura 55 abajo) o en el borde de salida.

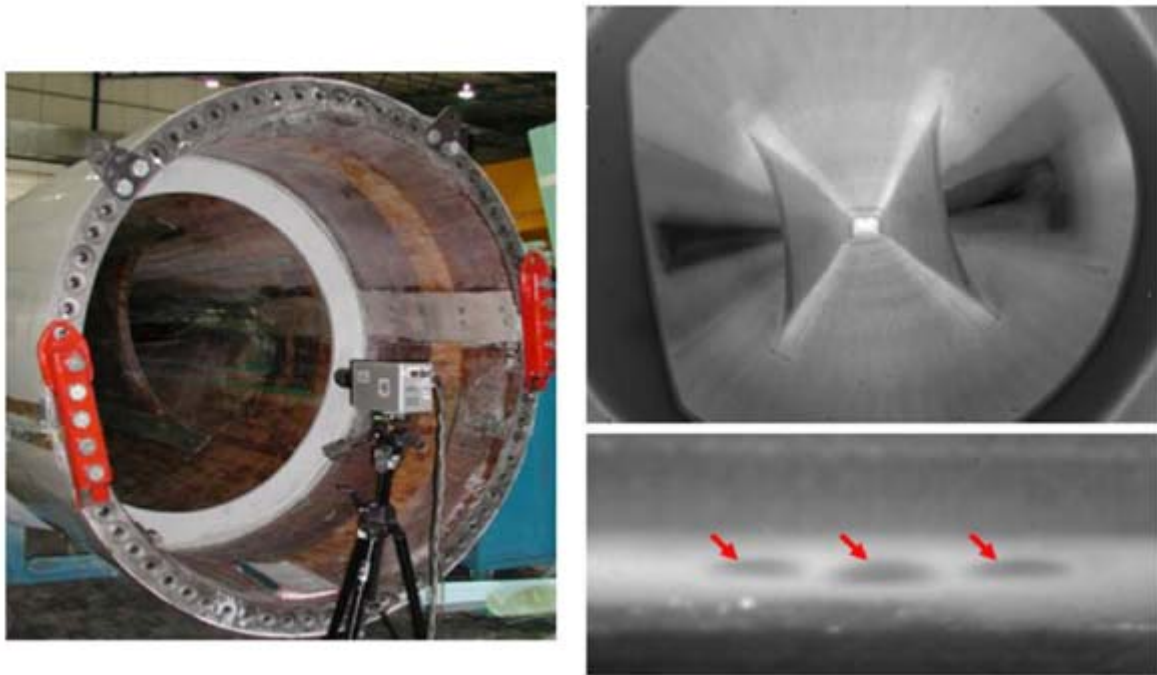


Figura 55. Inspección pasiva de la parte interna de una pala de rotor con una cámara termográfica (izq.). Imagen termográfica de la parte interna de la pala del rotor (arriba dcha.). Discontinuidades del encolado observados desde el exterior (abajo dcha.).



Ejemplo 2:

Los cambios fuertes de presión de viento y aire producen un gran impacto sobre el material laminado de las palas del rotor. Tienen una especial influencia las cargas cíclicas (fatiga) que afectan al material produciendo grietas y aparecerá un proceso de degradación continuo que afectará a las palas.

Frecuentemente, los cambios de las cargas producen diferencias de temperatura en las palas durante la rotación, indicando gran estrés o liberación de estrés en diferentes áreas de la pala (figura 56).

Además de la distribución de tensiones, las pequeñas grietas y el laminado en seco va a producir calor por fricción debido a la excitación cíclica.

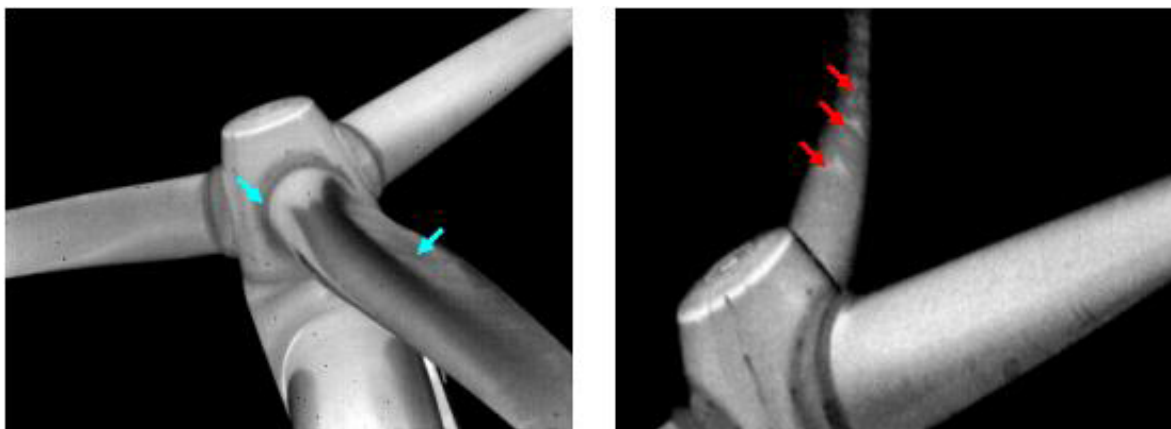


Figura 56. Imagen térmica de una pala de rotor mientras se está moviendo. Las partes de mayor brillo son las partes más calientes y muestran la acumulación de calor debido a las cargas mecánicas (flechas azules). En la imagen de la derecha las partes de mayor brillo indican delaminaciones producidas por el calor producido por la fricción de las microgrietas (flechas rojas).

Inspecciones Activas

Las técnicas de termografía activa se pueden usar en tres etapas diferentes:

- En el taller de acabado durante el proceso de producción, usando un sistema de inspección móvil sobre un raíl.
- En el área de pruebas, usando una cinta transportadora.
- In situ, antes de la instalación de las palas del rotor en la turbina.

A continuación se muestran algunos ejemplos:

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Ejemplo 1:

Después de pegar las dos medias conchas, la pala del rotor tiene que someterse a un trabajo de acabado en el que se retira el pegamento extra, se pinta y se llevan a cabo una serie de inspecciones acústicas. En esta etapa la inspección acústica, también llamado método de percusión o golpeo para la detección de defectos, se puede sustituir por la técnica infrarroja ya que se ahorra tiempo. Al mover el sistema de inspección sobre un sistema de raíles a lo largo de la pala del rotor (figura 57), se pueden detectar diversos fallos.

Uno de los principales defectos es la filtración de aire durante la inyección de pegamento en vacío. Si se introduce demasiado aire en la fibra de vidrio, las burbujas de aire pueden crear grandes áreas de laminado débilmente unido (figura 57).

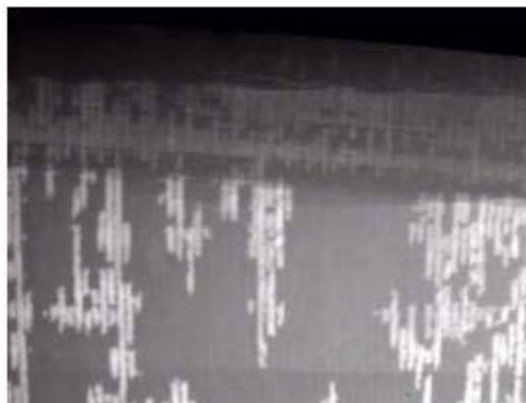


Figura 57. Sistema de termografía activa sobre raíles para la inspección de estructuras largas (izq.). Defectos de delaminado por filtraciones de aire en la fibra de vidrio (dcha.).

Ejemplo 2:

Las piezas rotas o las muestras pequeñas de una pala de rotor se pueden colocar sobre una cinta transportadora. Moviendo el material a lo largo del radiador infrarrojo, la superficie se puede calentar algunos grados. Después, el material se mueve bajo la cámara infrarroja para una inspección térmica (figura 58). Defectos como delaminaciones pueden ser detectados como puntos calientes, mientras que los mástiles de los refuerzos aparecen como zonas frías (figura 58).

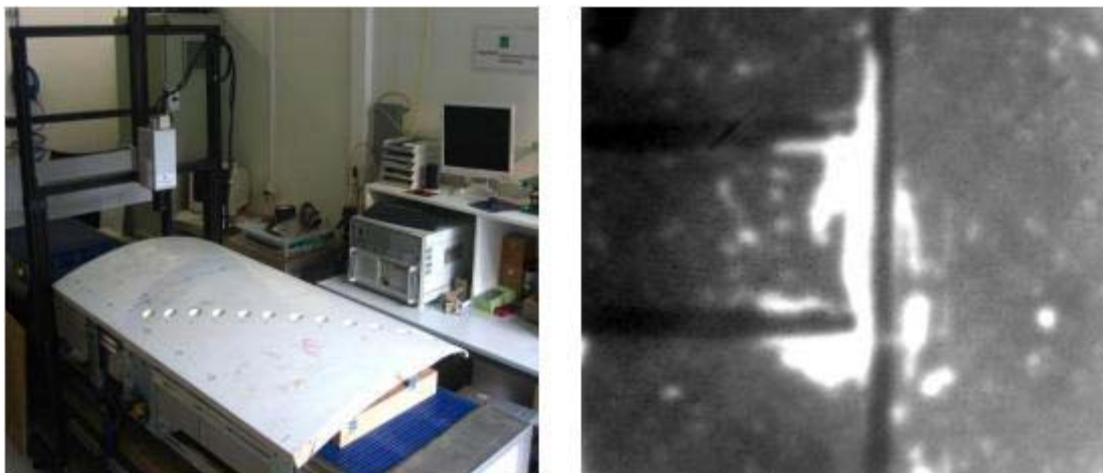


Figura 58. Sistema de pruebas de laboratorio sobre una cinta transportadora (izq.). Imagen térmica de una muestra de prueba que muestra delaminaciones en los puntos con más brillo (dcha.).

5.4. Termografía en energía Solar.

En la última década, la demanda creciente de energía ha estimulado la aparición de fuentes de energía alternativas al petróleo. De esta forma se han desarrollado diferentes tecnologías que tratan de utilizar energías renovables, como el viento, las mareas o la radiación solar.

La utilización de la radiación solar para generar electricidad a través de sistemas fotovoltaicos ha tenido un desarrollo espectacular en los últimos cinco años. Este desarrollo se ha debido a diferentes aspectos entre los que podemos destacar tanto la madurez de esta tecnología como el incentivo económico proporcionado por parte de los estados. En cualquier caso, el hecho es que este desarrollo ha supuesto la aparición de muchas empresas dedicadas al desarrollo, instalación y gestión de parques o huertos solares.

Evidentemente estas instalaciones tienen que proporcionar un retorno de la inversión adecuado para hacerlas rentables, aspecto que va a estar condicionado entre otros factores por un perfecto funcionamiento de dichas instalaciones o, lo que es lo mismo, un rendimiento óptimo de toda la planta, máxime cuando el coste de la electricidad de origen solar es más elevado que el coste logrado con otras tecnologías más convencionales.



5.4.1. Instalaciones fotovoltaicas.

Una instalación fotovoltaica (figura 59) está compuesta básicamente por sistemas de paneles fotovoltaicos instalados en estructuras adecuadas, equipos inversores que convierten la tensión continua generada por los paneles solares en tensión alterna, los sistemas de orientación de los paneles en función del tipo de instalación, el cableado y los sistemas de protección, así como los elementos de media tensión asociados en caso de que el sistema se conecte a una red comercial.

Todos estos elementos forman un sistema cuyo correcto funcionamiento va a proporcionar el retorno de la inversión en el periodo calculado.

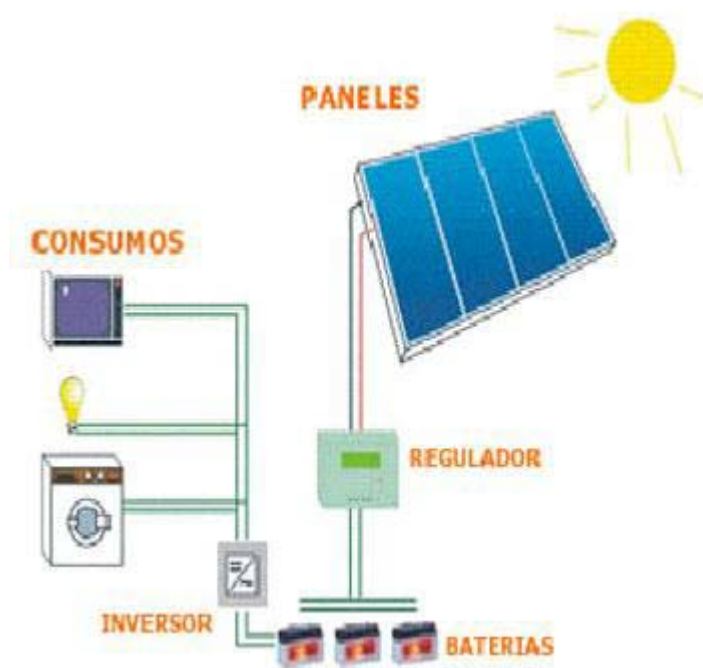


Figura 59. Instalación fotovoltaica.

5.4.2. Paneles fotovoltaicos.

El sistema de paneles fotovoltaicos está constituido por paneles (figura 60) o módulos que contienen celdas basadas en semiconductores sensibles a la radiación solar, encargadas de generar la tensión CC. La tecnología de estas células fotovoltaicas puede variar, destacando tecnologías como la de silicio policristalino, de película delgada, telururo de cadmio o arseniuro de galio (GaAs), cada una con sus rendimientos específicos.

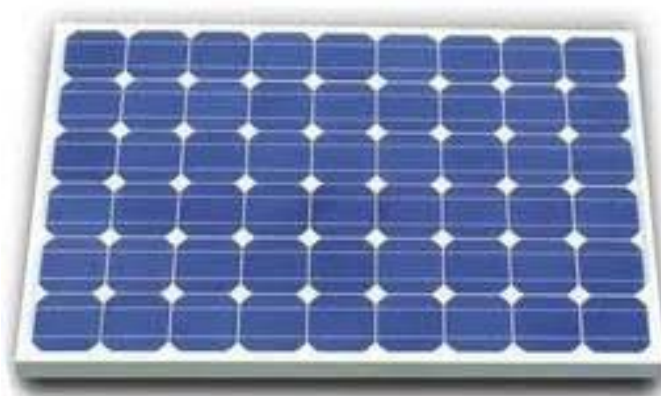


Figura 60. Panel fotovoltaico.

Estas células se agrupan en el panel en una o varias series en paralelo para lograr la tensión y potencia deseada. En condiciones normales de funcionamiento cada célula fotovoltaica, al recibir la radiación del sol, genera una tensión que al sumarse con el resto de las células en serie proporciona la tensión de salida del panel, que alimentará al inversor/convertidor para generar la tensión alterna de salida.

La relación entre la tensión y la corriente proporcionada por la célula viene dada por su curva característica I/V (ver figura 61). En el caso de que la célula esté sometida a radiación solar el valor de $(I \times V)$ será mayor que cero, es decir se generará electricidad.

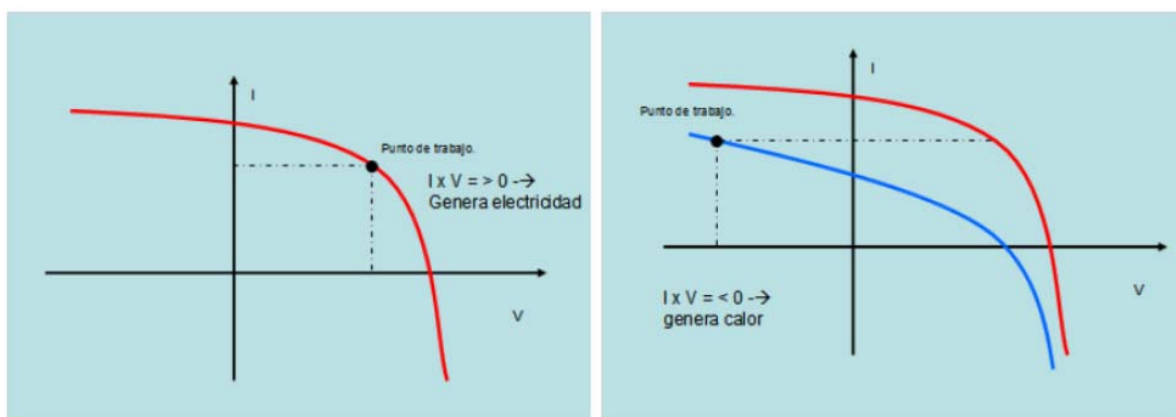


Figura 61. Célula irradiada por el sol (Izq.)
Célula no irradiada o en fallo (Dcha.)

Sin embargo, cuando una celda está averiada o no genera energía porque no recibe la radiación del sol, se puede polarizar de forma inversa pasando a comportarse como una carga en vez de un generador, lo cual puede implicar una alta disipación de calor. Esta situación es fácilmente detectable si se utilizan técnicas termográficas.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



5.4.3. Objetivos.

Realizando una comprobación visual del campo fotovoltaico, es posible detectar algunos de los posibles defectos que se pueden desencadenar en una instalación fotovoltaica. Pero la mayoría de ellos no son visibles con una simple inspección ocular y en algunos casos resulta difícil localizarlos mediante monitorización. La combinación de un estudio termográfico y la caracterización de las series o módulos para obtener los parámetros característicos de los mismos puede dar una visión más clara de los defectos existentes. De esta forma, los problemas típicos que la termografía puede detectar son:

- Coloración del encapsulado
- Hermeticidad de la caja de conexión
- Delaminación del encapsulado
- Células o módulos en cortocircuito
- Degradación del sellado
- Células o módulos en circuito abierto
- Oxidación del mallado de las células
- Suciedad o sombreado parcial
- Oxidación de los terminales
- Rotura del cristal del módulo

5.4.4. Metodología.

5.4.4.1. Inspección de Paneles Solares.

La forma de proceder para realizar un análisis termográfico en paneles solares, que pueda detectar los fallos anteriormente descritos, ha de ser mediante una cámara termográfica.

La cámara va a capturar una imagen térmica totalmente radiométrica junto con una imagen de luz visible superponiéndolas píxel a píxel con diferentes grados de fundido. La imagen así obtenida va a mostrar, por un lado las temperaturas de la superficie de los paneles fotovoltaicos a través de una paleta de colores que presentará las diferentes temperaturas. Además se representará una imagen de luz visible que facilite la identificación de los elementos. Gracias a la imagen térmica podremos ver el sobrecalentamiento de las celdas defectuosas.

Las condiciones más favorables para la detección de este tipo de problemas serán aquellas en las que el panel proporcione la máxima potencia, normalmente al mediodía en un día despejado. En estas circunstancias se pueden encontrar celdas a temperaturas muy elevadas.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



La inspección de paneles fotovoltaicos con una cámara termográfica se puede realizar tanto desde la parte frontal como desde la parte posterior del panel. En este último caso se presenta la ventaja de que se evitarán problemas relacionados con reflejos solares o aquellos derivados de la baja emisividad asociada a la superficie cristalina del panel.

En cualquier caso, la termografía nos va a permitir identificar a distancia y de una forma muy rápida los paneles que presentan puntos calientes. Simplemente tendremos que hacer un barrido de la instalación con la cámara termográfica.

Para tratar de evitar los problemas asociados a la polarización inversa de las celdas, los módulos fotovoltaicos pueden incluir diodos de protección (bloqueo, anti-retorno o by-pass), los cuales van a disipar más potencia cuanto mayor sea el número de células defectuosas. Este calentamiento podrá ser detectado también con el uso de la cámara termográfica revisando el panel por el lado de las conexiones.

Se debe prestar especial atención a la presencia de sombras sobre los paneles fotovoltaicos provocadas por árboles, torres de media tensión, otros paneles, etc., las cuales pueden originar la aparición de áreas térmicas irregulares que den lugar a una falsa interpretación (especialmente si las termografías son tomadas demasiado pronto en la mañana o demasiado tarde por la tarde).

Igualmente se debe tener en cuenta la presencia de viento ya que éste, por convección, va a reducir la temperatura de los puntos calientes, los cuales podrían no considerarse como fallos reales.

5.4.4.2. Otros elementos a inspeccionar.

Otras áreas que pueden ser supervisadas mediante un análisis termográfico son los motores de los seguidores. Debido a diferentes situaciones tales como las condiciones ambientales a las que se ven sometidos o si su dimensionamiento no ha sido el correcto, estos motores pueden presentar calentamientos que pueden acortar su vida de forma importante. Estos calentamientos pueden estar provocados por aspectos mecánicos (problemas en los cojinetes, alineamientos, etc.), problemas de ventilación, fugas en los devanados, etc.

Igualmente podremos utilizar la termografía para detectar problemas de calentamiento en inversores y transformadores de media tensión. En estos últimos se podrán detectar problemas en las conexiones de baja y media tensión, así como problemas internos en los devanados, etc. Otro área donde la termografía puede ser de gran ayuda para el mantenimiento tanto preventivo como predictivo es la revisión de todos los puntos de conexión, los cuales con el tiempo pueden aflojarse dando lugar a problemas de funcionamiento y paradas innecesarias, sobre todo teniendo en cuenta que una planta fotovoltaica puede implicar un gran número de conexiones y cuadros eléctricos tanto en CC como CA. En este sentido hay que tener en cuenta que una mala conexión supone un punto de mayor resistencia, es decir un punto donde se va a producir una mayor disipación térmica por efecto Joule.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



5.4.5. Identificación de defectos.

Como se ha comentado, el uso de la termografía permite poner de manifiesto de forma rápida y sencilla los posibles defectos en módulos fotovoltaicos. A continuación se exponen algunos ejemplos.

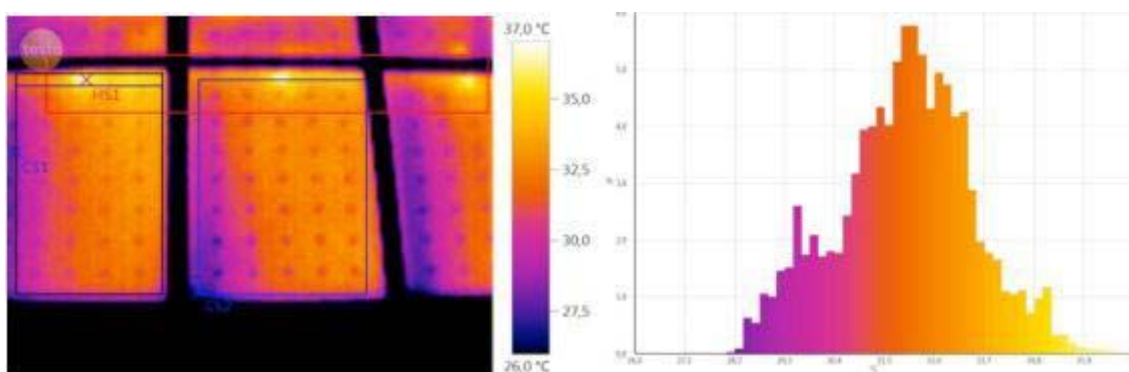


Figura 62. Punto caliente en la misma posición de módulos diferentes.

En la figura 62, la célula situada delante de la caja de conexión tiene siempre una temperatura mayor que el resto del módulo, posiblemente debido a efectos de aislamiento. En la figura 63, se puede ver un punto caliente con una temperatura superior a 90 °C. La superficie del módulo estaba rota en la zona de la célula afectada.

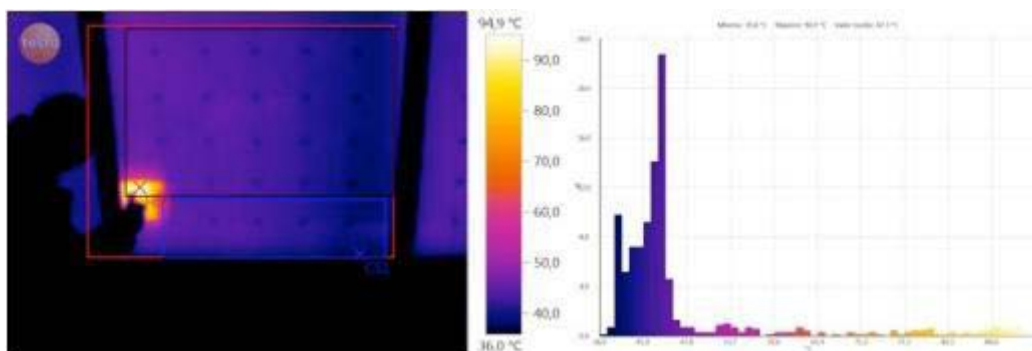


Figura 63. Célula sobrecalentada.

En la figura 64 se puede observar una fila de células completamente sobrecalentada. Esto puede ser debido a problemas de mismatching, un defecto de célula o de interconexión.

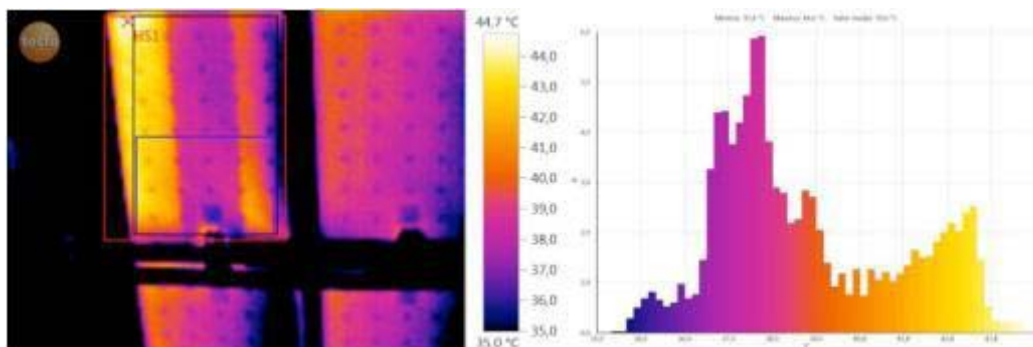


Figura 64. Serie sobrecalentada.

5.4.6. Importancia de la termografía en la Energía Solar.

Dado el plazo de amortización de las plantas fotovoltaicas, entre 6 y 10 años, es crítico asegurarse de que el rendimiento de la planta esté dentro de los límites considerados durante la etapa de diseño de la misma, de forma que se asegure su rentabilidad durante todo el periodo de explotación. En este sentido, la termografía es una herramienta indispensable para el análisis del funcionamiento y eficiencia de los diferentes elementos que componen la instalación: módulos fotovoltaicos, conexiones, motores, transformadores, inversores, etc. Una reducción de la eficiencia de los paneles fotovoltaicos puede suponer un incremento importante del período de amortización de la planta.

5.5. Termografía en Aplicaciones Aéreas.

La termografía más habitual se realiza a nivel terrestre: fotovoltaica, mantenimiento predictivo, veterinaria, edificación, etc... Sin embargo, las inspecciones de esta termografía, realizada con cámaras de mano, en todas las áreas (excepto en las más pequeñas), requieren mucho tiempo y trabajo, y obtienen imágenes de pequeño campo de visión.

Debido a recientes avances en tecnología infrarroja, a la disponibilidad de sistemas de imágenes de alta sensibilidad térmica y de formato espacial grande (alta resolución), ha sido posible desarrollar técnicas de inspección termográfica con cámaras aerotransportadas, es decir, montadas en una plataforma aérea: aviones, globos, helicópteros, UAVs (Vehículo Aéreo No Tripulado). Este tipo de inspección termográfica ofrece múltiples posibilidades, quedando obsoletas las inspecciones terrestres en determinadas aplicaciones.



5.5.1. Metodología.

La metodología para capturar imágenes infrarrojas aéreas es muy similar a la toma de fotografías aéreas. La plataforma aérea vuela sobre un área determinada con una cámara montada en ella (ej. fuselaje de un avión) y orientada directamente hacia abajo sobre la superficie a inspeccionar. Las imágenes se guardan en un disco duro para ser procesadas después. La diferencia entre la termografía infrarroja y la fotografía aérea visible es el momento del día en el que se realiza la inspección y la longitud de onda que obtiene el detector. La termografía infrarroja de objetos en tierra se realiza de noche, revelando fuentes de calor y las diferencias relativas de calor de un objeto a otro.

5.5.1.1. Trazamiento de Mapas Térmicos, Orto-rectificación y Procesamiento Posterior.

Usando una cámara infrarroja de alta resolución, se puede hacer la inspección de un par de edificios o unos cuantos miles de pies de tuberías subterráneas, volando sobre la zona, tomando las imágenes y grabando la información. Esto funciona con áreas muy pequeñas, pero no es posible para hacer mapas térmicos precisos de grupos completos de edificios, universidades, ciudades o bases militares sin ortorectificación de las imágenes.

Para producir mapas térmicos orto-rectificados, se debe reunir mucha más información, y añadirla a las imágenes infrarrojas. La orto-rectificación es un proceso que corrige las distorsiones producidas por los errores geométricos que pueden causar las variaciones topográficas de la superficie y la inclinación del sensor.

Durante la inspección, el avión vuela sobre líneas rectas en una cuadrícula preplanificada.

El operador de termografía infrarroja controla el sensor de captación de información siguiendo una lista de verificación estructurada para el manejo metódico de la información. Las imágenes se deben reunir con un sistema exacto, directo y digital, acoplado a un sistema GPS diferencial en tiempo real que provee posicionamiento x, y, z del sensor todo el tiempo.

Después de obtener la información se procesan las imágenes infrarrojas digitales y se convierten en una serie de imágenes orto-rectificadas en forma de cuadrados, los cuales se colocan juntos para crear una composición en forma de imagen de gran tamaño. Un sistema de ordenador organiza esta información usando un modelo de elevación digital (DEM en Inglés) del área, que consiste en una cuadrícula uniforme de valores de puntos de elevación de la posición y orientación de la cámara con respecto a un sistema de rendimiento tridimensional coordinado.



El resultado se presenta como una imagen térmica de alta resolución en forma de geo-TIFF (ver figura 65), el cual es compatible con un sistema de soporte geológico GIS tal como los siguientes programas de diseño de mapas: ESRI ArcViewTM, Map3D, AutoCAD®, Global Mapper, MapInfoTM, etc.

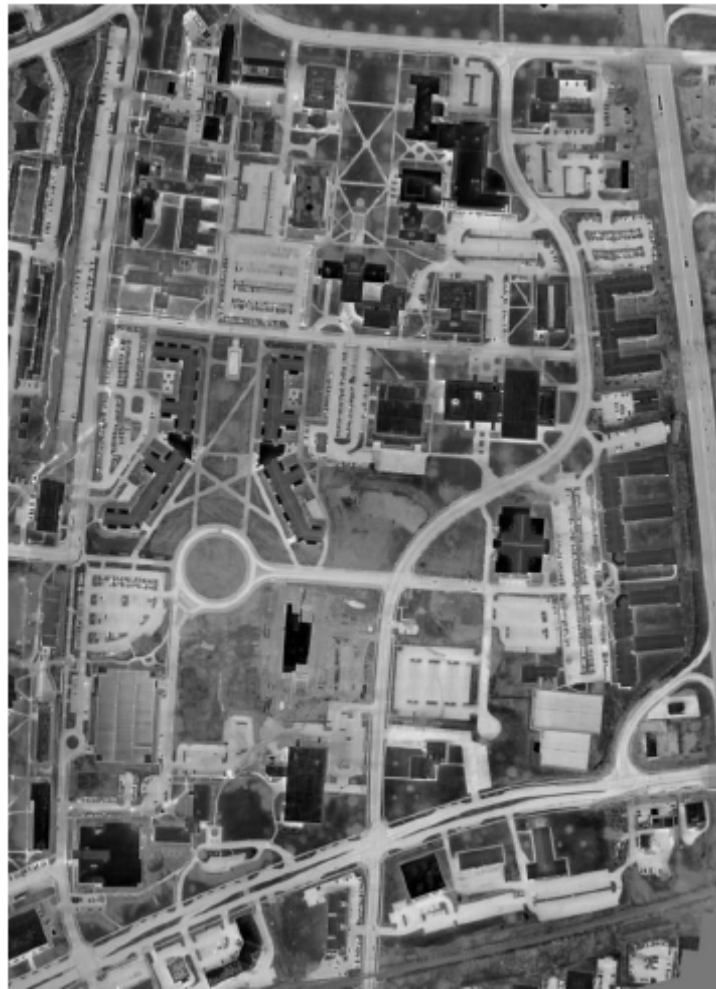


Figura 65. Mosaico de imagen infrarroja (geo-TIFF) de una universidad pequeña.

Una vez creados los mapas de alta calidad digital-térmica junto con las fotografías orto-rectificadas, estos pueden ser añadidos como nuevas capas de información a los CAD existentes ó nuevos, y al sistema GIS. La información digital también se puede procesar luego en otras formas, como a través de la creación de imágenes de colores falsos para resaltar las áreas de interés, añadiendo información de temperaturas ó creando informes gráficos.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



5.5.2. Objetivos.

Algunas ciudades disponen de sistemas de calefacción centrales, en las que se distribuye el agua caliente a través de tuberías bajo las calles. Con termografías aéreas controlan las pérdidas térmicas que pudieran producirse. También utilizan los mapas termográficos para estimar la calidad térmica de los edificios y realizar una labor de concienciación a los ciudadanos sobre el ahorro energético.

Las inspecciones aéreas con cámaras infrarrojas podrían resumirse en las siguientes aplicaciones:

- Detección de daños y filtraciones en azoteas y techos.
- Pérdidas en cañerías de vapor.
- Detección de minas y bombas.
- Seguimiento de animales.
- Control de medio ambiente:
 - Control de combustiones en vertederos.
 - Localización de vertidos contaminantes en ríos y costas.
 - Control de incendios forestales.
- Inspecciones de líneas eléctricas de alta tensión.
- Búsqueda y rescate.
- Ayuda en vuelos.

5.5.2.1. Pérdidas en cañerías de vapor.

En el caso de los sistemas de calefacción de un distrito, el sistema de distribución puede sobrevolarse rápida y económicamente, produciendo una imagen panorámica térmica. De esta manera se obtiene la información necesaria para la planificación del manejo de las propiedades y su mantenimiento preventivo. Las áreas donde se sospeche que hay problemas pueden ser señaladas y documentadas. Como resultado de encontrar y reparar las fugas del sistema de vapor de agua, se puede reducir la cantidad de energía a usar con todos los beneficios que ello conlleva.

La termografía infrarroja puede ayudar a inspeccionar los generadores y tuberías de vapor dentro de los edificios, realizando el monitoreado desde la superficie. Sin embargo, los conductos de distribución y condensado se examinan mejor desde el aire. La diferencia de temperatura entre las tuberías activas y la superficie es normalmente lo suficientemente grande, dependiendo de la profundidad de la tubería, los materiales que la cubran, la corriente y la temperatura.

Los sistemas de vapor de agua y los conductos del condensado son casi siempre fácilmente visibles con la termografía infrarroja, aún cuando no existan problemas resaltantes. Esto se debe al hecho de que no importa lo bueno que sea el material de aislamiento, siempre hay pérdida de calor en las tuberías, la cual llega hasta la superficie.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Las áreas problemáticas generalmente son completamente evidentes ya que presentan impresiones infrarrojas más brillantes (ver figura 66) que exceden la norma.

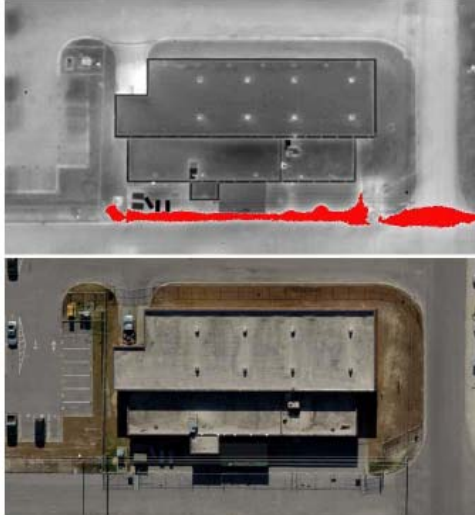


Figura 66. Imagen infrarroja e imagen visual de un sistema de vapor de agua con fuga coloreada en rojo.

5.5.2.2. Aviones.

Instalada en aviones, una cámara térmica puede utilizarse para facilitar el aterrizaje. Puede ayudar a los pilotos mejorando su capacidad para ver la tierra y a otros aviones a grandes distancias, incluso en oscuridad total, con niebla ligera, polvo o humo. Las cámaras térmicas nunca sustituirán a las herramientas e instrumentos existentes que un piloto utiliza para aterrizar el avión. No obstante, puede constituir un buen complemento mostrando al piloto una imagen clara de la situación. Cuando el avión se desliza lentamente sobre la pista para despegar o aterrizar, la cámara térmica puede contribuir a evitar accidentes. Una cámara térmica puede ver a través de la niebla y la lluvia ligeras. Por tanto, puede detectar fácilmente a otros aviones u objetos que el ojo no puede detectar a simple vista en condiciones climáticas adversas.

5.5.2.3. Misiones de búsqueda y rescate.

La tarea principal de los profesionales de búsqueda y rescate es encontrar a personas que están en apuros, pérdidas, enfermas o heridas, tanto en una zona remota o de difícil acceso, como montañas, desiertos o bosques, como en el mar, ya sea cerca o lejos de la costa. Las búsquedas pueden realizarse con personas que se desplazan a pie, a caballo o en vehículos.

Las cámaras térmicas a veces se montan en helicópteros que sobrevuelan la zona de búsqueda. Por lo general, también se utiliza asistencia aérea si está disponible.

Una cámara térmica detecta fácilmente actividad humana en zonas remotas, de forma que la víctima puede localizarse antes de que sea demasiado tarde. Una cámara térmica es capaz de hacer esto en oscuridad total, en tierra, mar o aire.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



5.6. Termografía en Medicina.

En la actualidad, la termografía infrarroja es una de las técnicas más eficientes para el estudio de las temperaturas corporales. Las cámaras infrarrojas son una relevante herramienta de diagnóstico para un sinnúmero de procedimientos clínicos y experimentales, que van desde chequeos de cáncer de mama hasta cirugías a corazón abierto. 30 años de uso clínico y más de 8,000 estudios respaldan a la termografía como una alternativa segura y efectiva de exploración del cuerpo humano.

Esta técnica de diagnóstico resulta ser precisa, cuantificable y no invasiva. Al ser no invasiva y no requerir radiación no es un procedimiento dañino para el cuerpo humano. La investigación médica ha comprobado que la termografía es una herramienta útil en la investigación y eficaz en el diagnóstico del cáncer de mama, trastornos en el sistema nervioso, en el metabolismo, problemas de cuello y espalda, síndromes de dolor, artritis, trastornos vasculares y lesiones en tejidos blandos, entre otros.

Se han llevado a cabo muchos estudios termográficos que demuestran el patrón normal anticipado de temperatura en una imagen térmica en estado estacionario así como en movimiento, como por ejemplo durante el calentamiento y enfriamiento de la piel. Los cambios característicos en los patrones normales se asocian a diferentes fenómenos patológicos. Dichos cambios dan la pauta para llevar a cabo investigaciones no invasivas que resulten valiosas para el diagnóstico.

5.6.1. Objetivos.

La aplicación de la termografía en la medicina (figura 67) se fundamenta en la fisiología térmica humana y en las bases fisiopatológicas de termorregulación cutánea en enfermedades. Éste es un método único por su capacidad para mostrar procesos fisiológicos y metabólicos, como por ejemplo el sentimiento de dolor, más que detalles puramente anatómicos, al revelar el efecto combinado del sistema nervioso autónomo y el sistema vascular sobre la temperatura. Las cámaras termográficas incorporan la última tecnología, haciéndolas adecuadas para su uso en numerosas aplicaciones médicas:

- Detección temprana de cáncer de piel.
- Técnica complementaria para el diagnóstico de cáncer de mama.
- Estudio y localización exacta de puntos de dolor, medida de los mismos y ayuda en su diagnóstico.
- Monitorización evolutiva de la efectividad de anestesia local en extremidades, y consecuente reducción de tiempo y riesgo.
- Localización rápida de patologías en músculos y huesos, y en sistemas cardiovascular o neurológico.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



- Análisis de la condición funcional de los tejidos blandos lesionados para elegir el tratamiento mejor y más apropiado.
- Estudio de la implicación de raíces nerviosas en patologías, incluyendo nervios raquídeos.
- Valoración de gravedad de quemaduras.
- Evolución de injertos y úlceras.
- Cirugía de corazón abierto.
- Pruebas “cold stress” (prueba de estimulación por frío).
- Documentación objetiva sobre el tratamiento más adecuado en diversas dolencias.
- Medicina deportiva.
- Veterinaria.

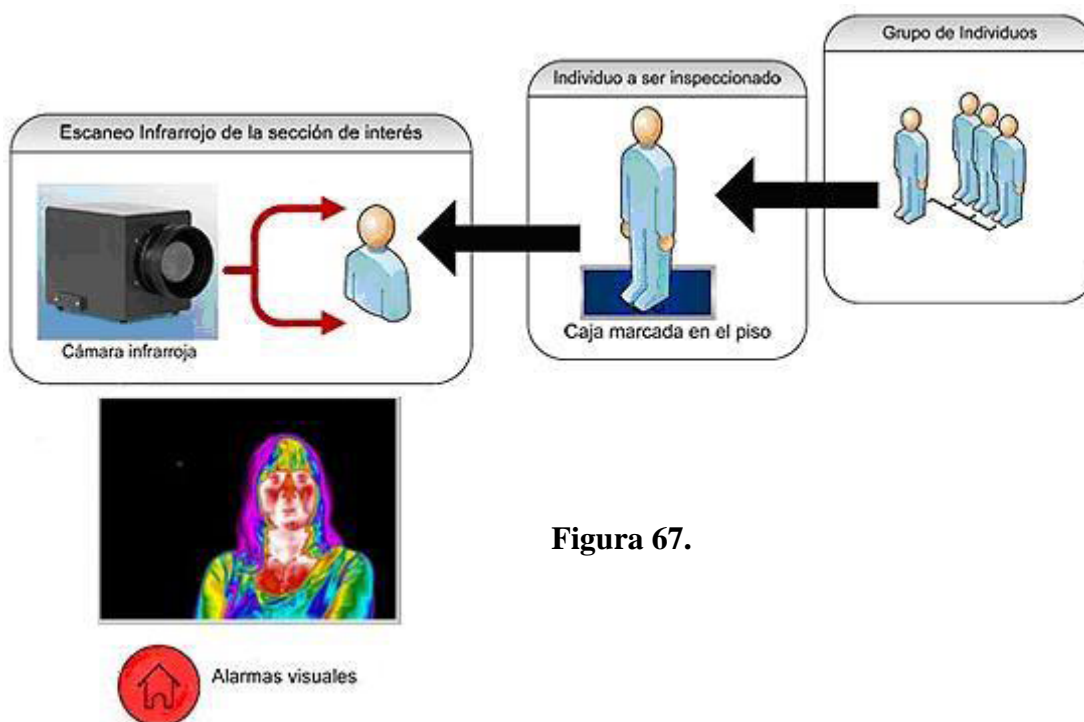


Figura 67.



5.6.1.1. Cáncer de Mama

Sabemos que las células cancerosas requieren un mayor suministro de sangre, lo que genera calor dentro y alrededor de las células. La Imagen Termográfica Digital Infrarroja (ITDI) es un examen de 15 minutos no invasivo de la fisiología mamaria. Es un procedimiento valioso para alertar a su doctor de los cambios que se pueden detectar en la enfermedad mamaria en sus etapas tempranas.

El beneficio de ITDI es que ofrece una oportunidad más de detección temprana de las enfermedades mamarias antes de la autoexploración, exploración por su doctor y en algunos casos antes de la mastografía y el ultrasonido por sí solos.

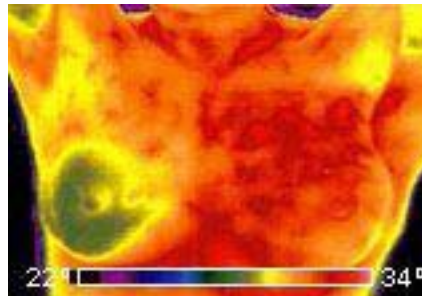


Figura 68. Examen termográfico.

Un examen termográfico (figura 68) muestra una diferencia anormal en la temperatura, lo que podría significar cáncer de mama en el pecho izquierdo.

La ITDI detecta los cambios mínimos fisiológicos que se acompañan en las enfermedades mamarias, ya sean: cáncer, cambios fibroquísticos, infecciosos o enfermedad vascular. El doctor puede entonces plantear de acuerdo al resultado y programar un sistema de monitoreo individual antes, durante y después de cada tratamiento.

La detección temprana del cáncer de pecho es crucial para las mujeres que la tienen y esperan sobrevivir a él. Si el cáncer de pecho es detectado temprano, los médicos facultativos convienen que la enfermedad tiene hasta 95% de probabilidad de curarse.



5.6.1.2. Veterinaria.

El cuerpo de un animal genera calor para sobrevivir. Dicho calor fluctúa a través del cuerpo según el torrente sanguíneo, y este se regula, a cierto grado, según sea necesario. Por ejemplo, los tejidos dañados necesitan mayor torrente sanguíneo para la creación de células sanas y así recuperarse. El reconocimiento natural del cuerpo de la lesión y el aumento subsecuente del torrente sanguíneo ocurren, incluso, antes de que el animal presente señal de dolor (cojera, por ejemplo).

La termografía infrarroja es un método rápido y no invasivo para detectar puntos calientes, ya que esta técnica genera una imagen de gradientes térmicos en tiempo real. Ya que el calor es uno de los principales signos que presentan las infecciones y las lesiones, podemos usar la termografía para detectar estas zonas en las fases iniciales. También se pueden detectar fácilmente nervios irritados y músculos dañados. Dentro de las aplicaciones más comunes cabe destacar: patologías axiales, articulares, fracturas, tendinitis.

Los infrarrojos se usan comúnmente para el diagnóstico de caballos, pero son numerosos los zoólogos que no solo han aprendido con la termografía a diagnosticar sino a conocer el comportamiento de todo tipo de animales.

El calor infrarrojo que emite un animal puede «verse» con una cámara infrarroja. Los patrones de calor que se proyectan le ayudan al médico a detectar si el flujo sanguíneo del animal es normal o anormal. El flujo sanguíneo se incrementa o disminuye, y ambos casos son ejemplos de problemas de salud.

Un «punto caliente» en un cuerpo animal indica inflamación o incremento en la circulación. Los puntos calientes, por lo general, se ven directamente en la piel que cubre la lesión. Un «punto frío», por lo general, es una reducción de sangre debido a la hinchazón, trombosis o tejido cicatricial.

Si las piernas se han cubierto, o se han tenido ampollas o aplicado linimentos, se proyectarán como zonas con incremento de calor. La simetría termal es obligatoria: comparas un área anatómica con la misma área, pero del otro extremo.

Por ejemplo: el exterior de una pata con el exterior de la otra pata.

5.6.1.3. Inflamación.

La termografía se usa para determinar si existe inflamación en un área que al palparse produzca dolor, o detectar un área que aumente el torrente sanguíneo cuando no existe dolor específico o síntomas (información subclínica). La mayoría de los caballos no sólo presenta un solo problema asociado a la cojera. La termografía también ayuda a la detección de áreas secundarias con problemas.

Se ha observado que los tendones y las comisuras presentan cambios inflamatorios durante un período de dos semanas antes de que la cojera clínica sea evidente.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

*Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara*



5.6.1.4. Lesiones musculares.

Un uso muy importante dado a la termografía es la detección de lesiones musculares, ya que localiza el área inflamada en un músculo o músculos y detecta la lesión antes de que llegue a ser clínica. La lesión se proyecta como un área de disminución constante de circulación, en comparación a la parte contraria.

5.6.1.5. Lesiones nerviosas.

Una lesión en un nervio, debido a un trauma directo o secundario u otra lesión o enfermedad, afecta el flujo de sangre, y ello puede verse gracias a la termografía.

5.6.1.6. Medicina preventiva.

La termografía también podría utilizarse para determinar la vasculatura y el torrente sanguíneo de los tejidos antes y después del ejercicio.

Otros usos incluyen exámenes antes de la compra, revisión para saber si se adapta a la silla de montar, entrenamiento auxiliar para evitar lesiones, exámenes antes de las carreras, balance en las pezuñas, seguimiento del proceso de sanación de un tendón después de una lesión, etc. Como se comprueba, existen diversos usos para esta herramienta no invasiva y confiable de diagnóstico.

5.6.1.7. SARS.

Una de las aplicaciones de la termografía infrarroja con más impacto en los medios, fue su utilización para detectar la fiebre alta en pasajeros de los aeropuertos.

El Síndrome Agudo Respiratorio Severo (SARS) conocido también como gripe aviar es una enfermedad infecciosa y mortal identificada oficialmente por primera vez en 2003. Entre otros síntomas, el SARS se caracteriza por una fiebre superior a 38º C.

La facilidad que demostró el SARS para propagarse a través de las fronteras provocó que en algunas áreas de tránsito de pasajeros, especialmente aeropuertos, se montasen cámaras termográficas para identificar posibles afectados.

Una cámara termográfica no detecta el SARS, sin embargo, un vistazo a un termograma humano permite detectar anomalías en la temperatura corporal (como fiebre alta). El mismo valor alto de temperatura o calor corporal puede ser generado por una persona sana que ha venido realizando un esfuerzo físico, como caminar de manera apresurada o correr. En el caso de que una persona tuviese una temperatura facial igual o mayor a la indicada según los síntomas de fiebre, no quiere decir al 100% de veracidad que presente gripe aviar, quizá solo sea una gripe estacional o una infección. Sin embargo, a pesar de no obtener un diagnóstico preciso, esta medida fue muy útil para la detección de posibles afectados por la enfermedad y poder así evitar el contacto directo con ellos.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

*Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara*



5.7. Termografía en Industria.

En el ámbito industrial la aplicación de la termografía en el área de mantenimiento es una de las más difundidas, especialmente en el mantenimiento llamado predictivo o también en el mantenimiento proactivo.

La termografía infrarroja en el área de mantenimiento presenta ventajas comparativas inigualables. Quizá sea el ensayo más divulgado y exitoso de los últimos años. Se complementa eficientemente como los otros ensayos del mantenimiento, así como son el análisis de lubricantes, el análisis de vibraciones, el ultrasonido pasivo y el análisis predictivo de motores eléctricos. También, por supuesto, con los ensayos no destructivos clásicos como lo son el ensayo radiográfico, el ultrasonido activo, líquidos penetrantes, partículas magnéticas y corrientes inducidas. Sin embargo, de todas las tecnologías relacionadas al mantenimiento, la termografía infrarroja sería la que está más vinculada a la seguridad de una instalación. Cuando nos referimos a seguridad queremos decir seguridad tanto de las personas como edilicia.

La gran mayoría de los problemas y averías en el entorno industrial - ya sea de tipo mecánico, eléctrico y de fabricación se manifiesta generando calor. Este calor o elevación de temperatura puede ser una elevación súbita, pero por lo general, dependiendo del objeto, la temperatura comienza a manifestarse lentamente. Ahí es donde la termografía se transforma en una herramienta irremplazable. La implementación de programas de inspecciones termográficas en instalaciones, maquinaria, cuadros eléctricos, etc. hace posible minimizar el riesgo de una falla de equipos y sus consecuencias (parada de planta y/o siniestro), a la vez que también ofrece una herramienta para el control de calidad de las reparaciones efectuadas.

En la figura 69 se puede observar un ejemplo de un motor con un calentamiento excesivo debido a un fallo de aislamiento.

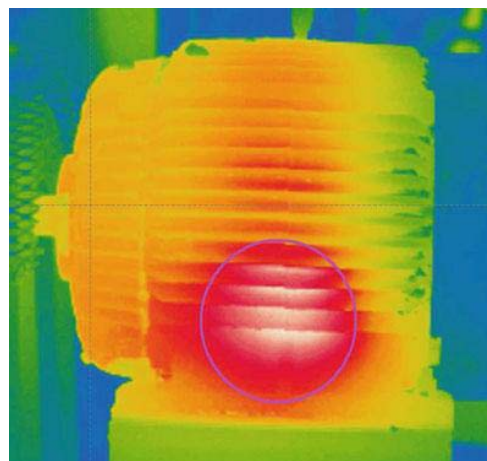


Figura 69. Motor con un calentamiento excesivo.



Esto significa reducir costes por lucro cesante, reducir las pólizas de seguro de la planta en sí y los seguros del personal en el área de accidentes del trabajo. Los otros gastos que se reducen sensiblemente son los del sector de mantenimiento propiamente dicho. Área que puede organizar mejor sus tareas pensando en futuro y tratando de disminuir al mínimo posible las reparaciones diarias, las cuales son siempre muy costosas. También reduce los costes por disminución de stock de repuestos y por mejor control de los proveedores a los cuales pueden reclamar en caso que la disipación de calor no esté conforme a las normas o a sus expectativas. La calidad de la ingeniería y el montaje inicial son fundamentales para los resultados futuros. La implementación de la termografía en el área de mantenimiento tiene un beneficio también indirecto sobre el área de producción y la calidad: menos paradas no programadas, lo cual significa mayor productividad y también uniformidad en el producto.

5.7.1. Termografía en instalaciones mecánicas.

La termografía Infrarroja tiene varias aplicaciones importantes que han surgido del monitoreo de la temperatura y del análisis de problemas durante la operación de un sistema mecánico.

En algunas instalaciones mecánicas tales como sistemas de aislamiento térmico y/o revestimiento refractario, lo más importante es identificar y cuantificar la extensión de una falla en el revestimiento; desde este punto de vista, se puede prever la condición de los equipos tales como calderas, hornos o calentadores de proceso, vasijas en unidades de ruptura catalítica, reactores y líneas de proceso, mientras se monitoriza periódicamente por termografía infrarroja.

En otras instalaciones mecánicas tales como los sistemas de intercambio de calor, es más importante evaluar que circunstancias o elementos pueden llegar a causar una pérdida de eficiencia en la función básica del sistema; la termografía infrarroja puede suministrar el patrón térmico exterior de un intercambiador de calor, que facilita el análisis de un problema de este tipo.

En los equipos rotativos tales como motores eléctricos, turbinas, reductores de velocidad, bombas centrífugas o reciprocantes, compresores centrífugos o reciprocantes, ventiladores, etc., la termografía infrarroja puede ayudar a identificar el sitio de una falla cuando el exceso de calor de la misma se exterioriza.



El exceso de calor se puede originar por varias circunstancias, por ejemplo:

- Por la fricción que ocurre en el interior de un rodamiento o cojinete cuando este se encuentra defectuoso, cuando presenta desgaste natural.
- Al soportar una carga con desalineamiento, cuando se encuentra con lubricación inadecuada, o cuando es maltratado.
- Por fricción sobre las pistas de una polea cuando existe tensionamiento inadecuado o desigual en las correas, cuando existe desalineamiento en este tipo de acoplamientos, o existen diferencias importantes entre la potencia suministrada y la requerida entre el motor y el equipo conducido.
- En el interior de un acople mecánico directo entre el equipo motor y el equipo conducido, cuando existe desalineamiento.
- En el interior de las válvulas de admisión y descarga de un equipo reciprocante, cuando existe recirculación del flujo a través de las mismas.

Se puede evaluar la condición de los sistemas de transporte de fluidos, que se encuentran compuestos en su mayoría por elementos como tuberías, válvulas de bloqueo, válvulas de regulación de flujo, válvulas tipo reductoras, válvulas de seguridad y en algunos sistemas por trampas de vapor.

Una inspección infrarroja ayuda a identificar los sitios de discontinuidades o distribuciones anormales de temperaturas que indiquen fallas como taponamientos en el fluido trasegado, compuertas en mal estado, áreas de sello deficientes en los diferentes tipos de válvulas, y en general, permite establecer el estado mecánico de cada uno de los elementos, mientras exista un gradiente de temperatura en el fluido que de un contraste térmico adecuado con los alrededores y además el aislamiento exterior en caso de haberlo, lo permita.

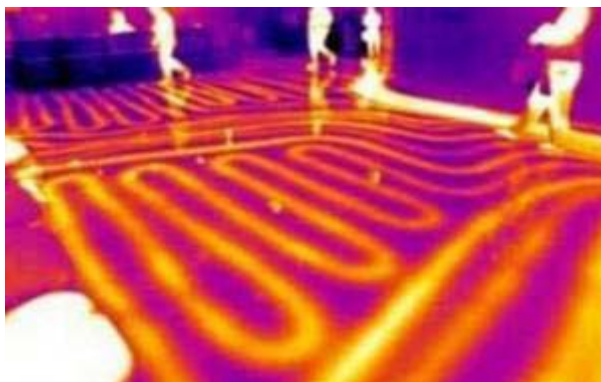


Figura 70. Termografía de suelo radiante.



En tanques y conductos aislados, donde se almacenan o transportan productos que deban mantenerse a temperaturas diferentes a la ambiental, la termografía infrarroja permite la localización de puntos de intercambio de calor y constatar las condiciones generales del aislamiento térmico, lo que se refleja directamente en la eficiencia del proceso. Para determinar los niveles en tanques de almacenamiento o transferencia, es suficiente la observación de la diferencia de temperaturas establecida arriba y abajo del nivel del líquido. El nivel será fácilmente visible si el tanque estuviese calentado por el sol o si el producto almacenado tiene una temperatura diferente a la del medio ambiente.

En general, del tipo de instalación mecánica depende el uso o la aplicación más práctica que se le dé a la termografía Infrarroja; cada clase de instalación tiene sus propios tipos de fallas más comunes, y en la búsqueda de su solución, se crean los procedimientos de inspección termográfica y los criterios de análisis.

5.7.2. Termografía en sistemas de distribución eléctrica.

Uno de los aspectos que caracteriza el desarrollo de una sociedad es su consumo de energía en todas sus formas y en particular su consumo de energía eléctrica. En este sentido observamos cómo la utilización de la electricidad en los países desarrollados se ha incrementado de forma importante en los últimos tiempos.

Esta dependencia de la energía eléctrica se traduce en una demanda de un suministro eléctrico de mayor calidad y disponibilidad. Una pieza clave para lograr estos objetivos es el mantenimiento predictivo-preventivo de las líneas y sistemas de distribución eléctrica, lo cual exige la utilización de procedimientos y equipos de mantenimiento en consonancia con las necesidades actuales. En este sentido, la termografía surge como una tecnología cuya aplicación a la inspección de los sistemas de distribución eléctrica va a ayudar a detectar de forma anticipada posibles averías en los mismos, disminuyendo de esta forma la probabilidad de fallo de la instalación en el futuro.

5.7.2.1. Fallos en sistemas de distribución eléctrica.

La principal causa de fallo en los sistemas eléctricos es un exceso de temperatura provocado por diferentes motivos:

- Incremento de resistencia en puntos de conexión. Es decir, un incremento de la resistencia de contacto da lugar a un incremento de la potencia disipada en dicho contacto, lo cual se traduce, en condiciones normales, en un incremento de su temperatura dando lugar a un “punto caliente”. Este incremento de la resistencia de contacto puede deberse a un fenómeno de oxidación o corrosión, tornillos que se aflojan o una presión insuficiente en los contactos móviles.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



- Fallos en los sistemas de refrigeración. El calor que se genera, por ejemplo en los transformadores de potencia, debe ser evacuado al exterior a través de los sistemas de refrigeración en los intercambiadores de calor. Si esta extracción de calor se reduce o falla, debido por ejemplo a una obstrucción en los tubos del intercambiador o un fallo en los ventiladores en caso de tratarse de una ventilación forzada, el transformador se va a calentar en exceso lo cual puede dar lugar en última instancia al fallo del mismo.
- Corrientes de fuga en sistemas aisladores. La reducción de la resistencia de aislamiento debido a suciedad o contaminantes puede dar lugar a la aparición de corrientes de fuga y arcos que dan lugar al calentamiento de los equipos y por lo tanto a su deterioro.

5.7.2.2. Tipos de inspecciones.

Mediante una cámara termográfica se va a poder examinar cada uno de los elementos que componen el sistema de distribución eléctrica en busca de patrones de calentamiento, lo cual va a permitir detectar y resolver un posible problema antes de que dé lugar a un fallo o interrupción en la línea.

En este sentido podremos hablar de dos tipos de inspecciones bien diferenciadas, por un lado las inspecciones cualitativas y por otro las inspecciones cuantitativas.

En el primer caso no se busca en primera instancia el medir con gran precisión la temperatura de los elementos, sino realizar una comparación de los patrones de temperatura de los elementos que estén trabajando en las mismas condiciones. Afortunadamente, la distribución eléctrica se basa en sistemas trifásicos, de forma que este método es perfectamente válido para la inspección de sistemas de distribución ya que se va a poder comparar los elementos de una fase con los de las otras fases, lo cual nos proporciona una herramienta de inspección muy potente, rápida y fácil de utilizar llamada inspección cualitativa (figura 71).

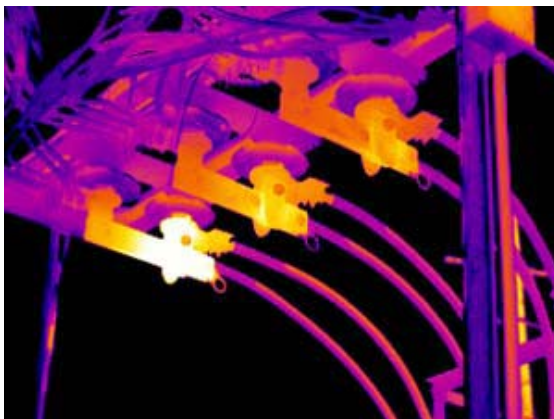


Figura 71. Inspección Cualitativa



Una vez detectada una diferencia apreciable de temperatura en un elemento, se puede pasar a la inspección cuantitativa midiendo de forma precisa la temperatura de los elementos.

Los procedimientos de operación deberán tener en cuenta la diferencia de temperatura entre el punto caliente detectado y la temperatura de elementos equivalentes o bien con la temperatura ambiente para determinar el nivel de actuación basado en una clasificación que determine la importancia y/o urgencia del problema detectado teniendo en cuenta aspectos tales como el nivel de carga, condiciones ambientales, etc. En este sentido se pueden encontrar referencias como las que proporciona la **NETA** (International Electrical Testing Association), de esta forma diferencias de temperatura entre elementos similares en las mismas condiciones de trabajo (carga, etc.) superiores a 15 ° C podrían implicar la toma de acciones inmediatas para la reparación de dicho equipo. Igualmente se recomienda el mismo tipo de acción cuando a diferencia de temperatura entre el elemento bajo estudio y la temperatura ambiente sea superior a los 40° C.

5.7.2.3. Sistemas de distribución eléctrica.

Teniendo en cuenta los aspectos mostrados en el apartado anterior, para facilitar el análisis desde un punto de vista termográfico de los sistemas de distribución eléctrica, se van a agrupar dichos sistemas en tres áreas principales, las cuales presentarán unas características particulares. De esta forma se va a hablar de inspecciones en líneas de distribución, inspecciones en subestaciones y finalmente inspecciones en centros de transformación.

➤ *Líneas de distribución eléctrica.*

Son las encargadas de unir las centrales eléctricas con los puntos de consumo a través de las subestaciones y centros de transformación, proporcionando en la medida de lo posible la redundancia requerida gracias a su estructura de malla.

En función de la tensión de trabajo podremos hablar de líneas de media y alta tensión, cada una con sus características particulares tanto a nivel técnico (tensión nominal, altura de las torres, tipo de aisladores, número de líneas, etc.) como de gestión (criticidad, redundancia, disponibilidad, etc.), características que habrá que tener en cuenta a la hora de realizar la inspección termográfica de las mismas.



Uno de los aspectos que hay que tener en cuenta a la hora de considerar la inspección termográfica de las líneas de distribución será su accesibilidad. En este sentido podemos considerar tres formas básicas de inspección:

Inspecciones aéreas. Este método se utiliza principalmente cuando es necesario inspeccionar grandes distancias en líneas de transmisión. El medio de transporte habitual es el helicóptero en el cual se instalan cámaras termográficas con sistemas giroscópicos. Este método presenta unas ventajas claras en cuanto a velocidad y accesibilidad, sin embargo dado el alto coste que implica este tipo de inspecciones, su uso debe ser rentabilizado en la inspección rápida de amplias redes de distribución o en aquellos lugares donde la accesibilidad por tierra presente dificultades. De esta forma las compañías eléctricas suelen realizar inspecciones rutinarias cada 3 años para líneas de más de 45 kV. Dado el alto coste de esta técnica su uso en mantenimiento reactivo es mínimo, recomendándose para esta situación el uso de equipos portátiles.

Inspecciones en todo-terreno. Este método es adecuado cuando sea posible seguir el tendido eléctrico por medio de un vehículo todo-terreno sobre el cual se puede instalar de forma adecuada una cámara termográfica con la cual obtener las termografías rutinarias.

Inspecciones a pie. Así como la termografía aérea nos permite la revisión de largas distancias de una forma rápida, la inspección a pie nos va a permitir no solo la revisión preventiva de la instalación en aquellas zonas más accesibles sino también la revisión de los sistemas de forma puntual en aquellos casos en los que se realizan labores de mantenimiento y reparación. Igualmente, presenta la ventaja del gran contraste de las imágenes termográficas ya que al estar tomadas normalmente con el cielo como fondo, el cual presenta una temperatura muy baja, ofrece un contraste muy elevado con los elementos eléctricos a inspeccionar (figura 72).

Esta situación, por el contrario puede no darse en las inspecciones aéreas donde el fondo puede ser vegetación, pastos, asfalto, terreno, etc., los cuales al estar a temperatura ambiente proporcionan un menor contraste con los sistemas eléctricos.

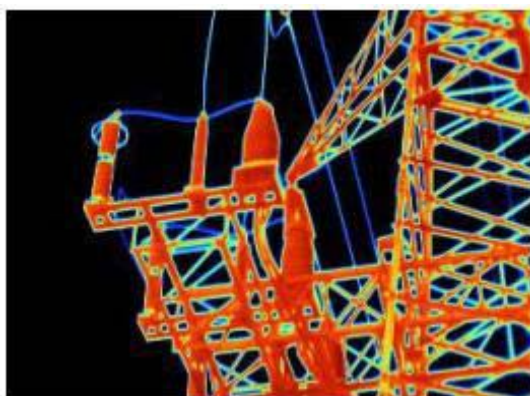


Figura 72. Termografía obtenida desde el suelo.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Elementos a inspeccionar.

Los elementos a examinar son típicamente los puntos de unión y distribución de las líneas. De esta forma se revisarán:

- Grapas de amarre.
- Elementos de suspensión en estructuras de aislamiento.
- Pasos aéreos a subterráneo.
- Botellas de paso a tierra.
- Seccionadores tripolares.
- Cortacircuitos.
- Igualmente y dependiendo de las circunstancias es posible detectar fallos en aisladores los cuales.
- Pueden presentar un calentamiento anormal debido a suciedad, deposiciones salinas, etc.

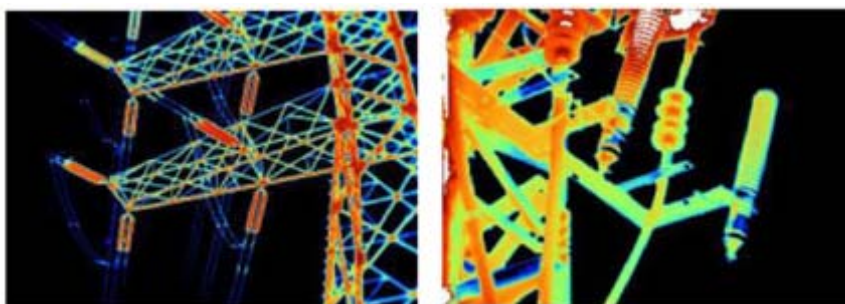


Figura 73. Elementos de suspensión en una torre de alta tensión (izq.)
Elementos en una torre de paso aéreo a tierra (dcha.)



Aspectos a tener en cuenta.

Condiciones ambientales y atmosféricas como por ejemplo:

- La velocidad del viento, lluvias recientes, humedad, niebla etc., aspectos que pueden enmascarar un punto caliente al reducir la temperatura del mismo por efecto de la convección, evaporación etc.
- Igualmente habrá que tener en cuenta cualquier fenómeno de reflexión del sol, por lo que en este sentido se recomienda el uso de cámaras termográficas de longitud de onda larga (8 a 14 micras), frente a las cámaras de longitud corta (3 a 5 micras) que se ven, a priori, más afectadas por el sol y sus reflejos. En este sentido una forma de proceder para determinar si se trata de un reflejo o de un verdadero punto caliente será la toma de diferentes termografías con diferentes ángulos de incidencia, si el punto caliente desaparece al movernos entonces se trata de un reflejo.
- La época del año. Ya que en función de la misma la temperatura ambiental será diferente, pudiendo influir en la temperatura de los puntos calientes
- La hora del día.

Aspectos ligados a la propia instalación.

- Habrá que tener en cuenta el nivel de carga de la línea, recomendándose no realizar inspecciones con niveles de carga inferiores al 30%. En este sentido, la época del año también puede ser importante a la hora de elegir el momento adecuado para estacionalizar las rutinas de termografía; hay que tener en cuenta que en tiempos recientes y en determinadas zonas, el pico de consumo se ha trasladado del invierno al verano debido al uso de sistemas de climatización. La altura de las torres. Dada la diferente altura de las torres de distribución eléctrica, dos aspectos a tener en cuenta a la hora de utilizar una cámara termográfica serán la resolución espacial y su resolución óptica. La resolución espacial nos determina el objeto más pequeño que es capaz de ver la cámara y la resolución óptica nos determina el objeto más pequeño sobre el cual se puede obtener una medida precisa de la temperatura. Ambos aspectos están determinados por el tipo de sensor y por la óptica de la cámara y habrá que tenerlos en cuenta a la hora de considerar la distancia desde la que vamos a realizar las termografías.



➤ *Subestaciones.*

Las subestaciones eléctricas son los sistemas encargados de realizar la transformación y adecuación de las tensiones entre las diferentes redes de distribución eléctrica que llegan a las mismas, a la vez que proporcionan los elementos de mando, protección y corte para la gestión de dichas líneas. Teniendo en cuenta lo anteriormente dicho, las subestaciones son instalaciones con una mayor riqueza de equipos y sistemas en comparación con las líneas de distribución, y con unas características particulares que las diferencian a la hora de realizar inspecciones termográficas.

Elementos a inspeccionar.

Los aspectos a examinar son los ya comentados: principalmente puntos de mal contacto tanto entre elementos fijos como entre elementos móviles, y en menor medida fallos de aislamiento. Sin embargo dado la gran riqueza de equipos podemos hablar también de fallos en baterías de condensadores, motores, sistemas de refrigeración, etc. Examinemos los principales puntos de fallo:

Puntos de mal contacto (ver figura 74). Las líneas de alta y media tensión que llegan hasta las subestaciones dan lugar a diferentes puntos de conexión y contacto. En este sentido se deben revisar, entre otros, los puntos de acometida, los contactos móviles de seccionadores, los cuales dada su naturaleza pueden tender a disminuir la presión de contacto incrementándose de esta forma su resistencia, lo que da lugar a puntos calientes fácilmente detectables con las cámaras termográficas. Igualmente se deben revisar las conexiones en interruptores, transformadores de medida, tanto de tensión como de corriente, y válvulas de descarga. A continuación revisaremos las conexiones de alta y baja en los transformadores de potencia donde nuevamente podremos encontrar contactos defectuosos.

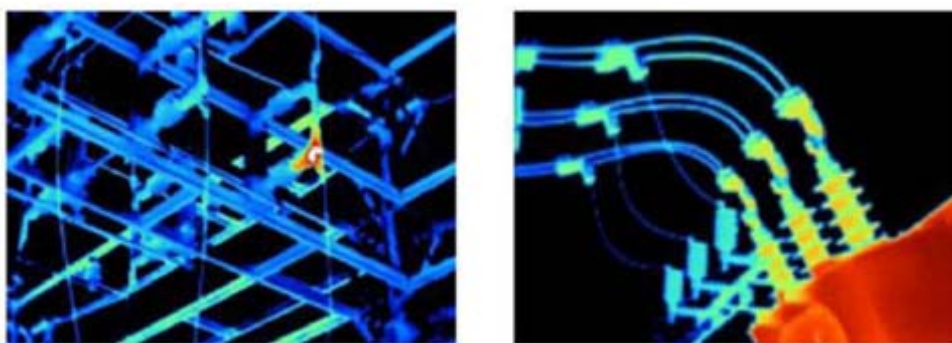


Figura 74. Punto caliente de un seccionador (izq.).
Conexiones de un transformador (dcha.).



Sistemas de refrigeración. En el caso de los transformadores de potencia podemos aprovechar su inspección para revisar la temperatura de su cuerpo y sus sistemas de refrigeración, tanto si se trata de ventilación natural como forzada. En este segundo caso, y en menor importancia dada la redundancia de elementos, podemos revisar posibles sobrecalentamientos o defectos en los motores de ventiladores o el correcto patrón de temperatura de los intercambiadores de calor y el estado abierto o cerrado de sus válvulas de apertura.

Sistemas de aislamiento. Al igual que ocurría con las líneas de distribución, los aisladores sucios o con depósitos pueden dar lugar a la aparición de corrientes de fuga que aumentan la temperatura del equipo.

Este es un problema que suele aparecer en instalaciones que muestran contaminación en los aisladores, la cual, junto a un aumento de la humedad pueden dar lugar a la aparición de descargas en los anillos del aislador. En dichos casos se recomienda la limpieza de estos elementos o la aplicación de siliconas especiales. Se deben revisar también los cuerpos de los descargadores.

Fallos en sistemas accesorios tales como baterías de condensadores de compensación de reactiva, sistemas de control en continua, cuadros auxiliares, etc.

Aspectos a tener en cuenta.

Nuevamente habrá que tener en cuenta las condiciones ambientales mencionadas en el caso de las líneas de distribución, al igual que aspectos relacionados con la distancia de la cámara a los equipos; aunque en este caso dada la estructura de las subestaciones, en general dichas distancias suelen ser mucho menores, lo cual va a influir en la termografía obtenida, como hemos comentado anteriormente, a través de la resolución espacial y óptica.

➤ **Centros de transformación.**

Los Centros de Transformación son las instalaciones encargadas de transformar la media tensión en baja tensión para su utilización por parte de los usuarios finales, normalmente a tensiones de 400 V trifásica y 230 monofásica.

De forma general, un centro de transformación constará de un embarrado o anillo de media tensión (por ejemplo de 15 o 20 kV) al cual se pueden conectar a través de sus seccionadores oportunos una o más líneas. De este embarrado se alimentará el transformador o transformadores que proporcionan la baja tensión a los usuarios. Estos transformadores se podrán aislar de la instalación gracias a los seccionadores e interruptores de protección instalados en la acometida del primario. Sus potencias pueden variar dependiendo de la instalación, pudiéndonos encontrar potencias de 250 KVA, 400 KVA, 630 KVA, 1000 KVA, etc.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Finalmente la salida de los transformadores se distribuye a través de diferentes salidas protegidas por fusibles en los CGP o BTV.

Elementos a inspeccionar.

Considerando la descripción anterior, durante una inspección termográfica en un centro de transformación (figura 75) se deberán inspeccionar todos los puntos de unión de la instalación, por ejemplo, los contactos de aisladores pasamuros, seccionadores, fusibles limitadores e interruptores, prestando especial atención a puntos calientes provocados por una presión inadecuada en los contactos móviles. Igualmente se deberán revisar las conexiones del transformador, tanto las bornas enchufables en alta como las bornas de baja. Un calentamiento excesivo de una de las bornas será una indicación de que el contacto no es correcto, por lo que deberemos revisar dichas conexiones enchufables o el apriete tuerca contra tuerca. Adicionalmente a los puntos de unión, es recomendable inspeccionar el cuerpo de los transformadores para detectar cualquier anomalía interna. Evidentemente las cámaras termográficas no pueden ver el interior del transformador, pero lo que sí podemos ver es el efecto del calentamiento interno en la superficie del mismo, pudiendo detectar asimetrías en los patrones de calor que desvelen un problema interno.

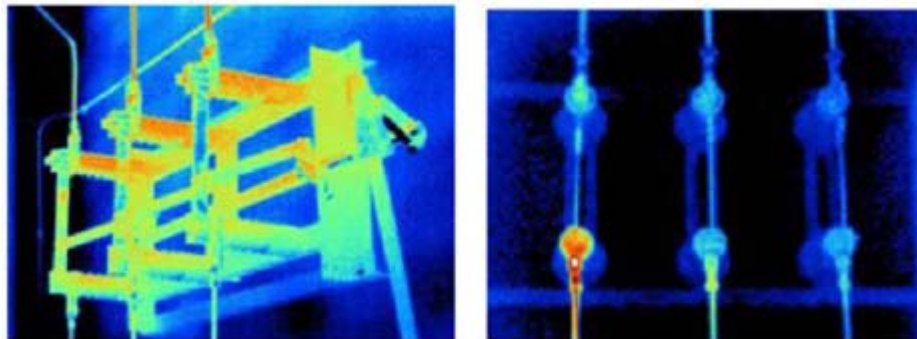


Figura 75. Seccionadores en un centro de transformación.

Lo mismo que sucedía con las inspecciones en líneas y subestaciones, el método de trabajo pasa por una primera inspección cualitativa donde se comparan los diferentes elementos del sistema trifásico, buscando diferencias entre los elementos de cada fase para, una vez detectado algún elemento sospechoso, pasar al análisis cuantitativo que nos permita medir con precisión la temperatura de los puntos calientes detectados.



Aspectos a tener en cuenta.

Evidentemente, para un centro de transformación en edificio las condiciones ambientales son un factor secundario, sin embargo en el caso de los CTI o Centro de Transformación de Intemperie, sí que habrá que tener en cuenta dichas circunstancias tal como comentamos para el caso de inspecciones en líneas y subestaciones. En el caso de los centros de transformación en edificio habrá que tener en cuenta la posible influencia de la temperatura de fondo ambiental o de algún foco de calor particular, tales como potentes luminarias, las cuales podrían dar lugar a reflejos indeseados. Dadas las dimensiones limitadas de los centros de transformación, donde todos los elementos suelen estar a una distancia respecto de la cámara normalmente no superior a los 2 metros, deberemos tener en cuenta también la resolución espacial de la cámara.

5.7.3. Otras áreas de aplicación en el mantenimiento industrial.

Además de los ejemplos comentados en los apartados anteriores existen innumerables áreas de aplicación de la termografía en el mantenimiento industrial:

- Instalaciones eléctricas en general. Líneas de baja, media y alta tensión.
- Endentado de cables.
- Conexiones, fusibles, cuadros, cables y empalmes eléctricos.
- Conductos de barras.
- Transformadores de potencia, de corriente y de tensión.
- Seccionadores.
- Interruptores.
- Excitadores de generadores y motores – Escobillas.
- Instalaciones Mecánicas – Reductores.
- Análisis de escape en motores de combustión interna.
- Pérdidas en condensadores.
- Aislaciones y refractarios.
- Hornos, calderas e intercambiadores de calor.
- Instalaciones frigoríficas, pérdidas de frío, torres de enfriamiento y climatización.
- Máquinas rotativas.
- Líneas de vapor.
- Reactores.
- Rodamientos.
- Motores eléctricos.
- Hornos de Cemento.
- Bombas de agua.
- Pérdidas en válvulas líquidos-vapor, trampas de vapor.
- Verificación de niveles de líquidos en recipientes.
- Líneas de producción, corte, prensado, forja, tratamientos térmicos.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



5.7.4. Ventajas del mantenimiento preventivo con termografía.

Las inspecciones mediante termografía para el mantenimiento preventivo industrial ofrecen una gran variedad de ventajas:

- Método de análisis sin detención de procesos productivos, ahorra gastos.
- Baja peligrosidad para el operario por evitar la necesidad de contacto con el equipo.
- Determinación exacta de puntos deficientes en una línea de proceso.
- Reduce el tiempo de reparación por la localización precisa de la falla.
- Alargan la vida de los equipos.
- Facilita informes muy precisos al personal de mantenimiento.
- Ayuda al seguimiento de las reparaciones previas.

5.8. Otras Aplicaciones.

5.8.1. Termografía en automóviles.

Existen automóviles (como lo de la marca BMW) que están equipados con un sistema de visión nocturna basado en una cámara infrarroja y una pantalla situada en la parte superior de la consola (figura 76).

Esto permite a los conductores ver y reconocer la posición de viandantes, vehículos, animales y objetos que estén en la carretera o en sus inmediaciones, ayudando a reconocer peligros potenciales en la oscuridad total, a través del humo, la lluvia o la nieve.



Figura 76. Sistema de visión nocturna de un coche.

Gracias a su capacidad de detección de largo alcance (hasta 300 metros para un ser humano y más de 800 metros para objetos de 2,3 x 2,3 metros), el sistema de visión nocturna de BMW implica una ganancia de tiempo de unos 5 segundos a una velocidad de 100 km/h en comparación con las luces de carretera. Esto significa que los conductores disponen de más tiempo para reaccionar y evitar accidentes.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Un zoom digital puede enfocar objetos lejanos si se conduce a altas velocidades. La pantalla ajusta la imagen de la cámara automáticamente cuando el vehículo está llegando a una curva, permitiendo al conductor detectar obstáculos dentro y más allá de esta. Un cruce de peatones en el camino, por ejemplo, puede verse con seguridad. Entrar en lugares o garajes oscuros, o el conducir en los caminos difíciles por la noche, es más fácil y más seguro con este sistema de visión nocturna (figura 77).



Figura 77. Imagen de un sistema de visión nocturna de un coche.

5.8.2. Termografía para fines marítimos, seguridad, salvamento y rescate.

La amplia gama de cámaras de imagen térmica para fines marítimos se está introduciendo en una gran variedad de embarcaciones. Barcos como los transatlánticos, los remolcadores, los cruceros, las embarcaciones de salvamento y de muchos otros tipos se han mejorado incorporando las cámaras de imagen térmica.



Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Una cámara termográfica es muy eficaz en los entornos marítimos. Se ha diseñado para cumplir los siguientes requisitos: seguridad portuaria, costera y en los trayectos, seguridad marítima, detección de inmigrantes ilegales en el mar, fuerzas de seguridad costera, antipiratería y detección de amenazas, protección de flotas pesqueras, seguimiento y observación de embarcaciones, operaciones de búsqueda y rescate, protección medioambiental, etc.

Incluso los objetos que un sistema de radar no puede detectar como veleros, embarcaciones de madera, residuos flotantes, se vuelven claramente visibles cuando se emplea una cámara termográfica.

Son muy utilizadas por los guardacostas y el personal encargado de labores de rescate. Estos utilizan las cámaras termográficas para las búsquedas en situaciones de hombre al agua.

Es extremadamente importante encontrar a las personas flotando en el agua antes de que entren en hipotermia.



Aplicaciones:

- **Navegación a luz del día:**

La cámara termográfica detecta objetos en cualquier tipo de condiciones luminosas. A plena luz del día, la cámara termográfica puede detectar objetos imperceptibles para el ojo humano. No le afecta el reflejo del sol.

La cámara termográfica le permitirá ver a través del reflejo y detectar posibles obstáculos al navegar con la salida o la puesta de sol.

- **Antipiratería:**

Un punto luminoso que se aproxima en la pantalla de su radar también puede implicar peligro. La cámara termográfica le permite ver embarcaciones en el horizonte y le proporciona la capacidad de decidir antes de que sea demasiado tarde.

- **Detección de hielo:**

La cámara termográfica es una herramienta ideal para detectar hielo. Se puede instalar a bordo de petroleros, barcos de investigación y atómicos rompehielos. Los icebergs y el hielo flotante pueden dañar un barco gravemente e incluso hundirlo.

Sin embargo, el hielo puede hacerse claramente visible gracias a la cámara termográfica FLIR. Así, el capitán podrá tomar las medidas oportunas para evitar la colisión.



- **Detección de vertidos de petróleo:**

La cámara termográfica es sumamente útil para detectar vertidos de petróleo que flotan en el agua.

No solo en caso de accidente, sino también al cargar o descargar barcos petroleros.

El petróleo que flota en el agua se ve claramente en una termografía.

- **Aumenta la seguridad y protección a bordo:**

El entorno de a bordo puede estar muy aislado y ser vulnerable.

Hoy, más que nunca, la seguridad a bordo es importante. Una cámara termográfica le permite ver lo que hay a su alrededor, incluso a largas distancias. Puede supervisar la actividad en el puerto o mientras el barco está fondeado y ver los barcos o las personas que se aproximan sin alertarles de que están siendo observados.

- **Fuerzas de seguridad:**

Una cámara termográfica es una herramienta ideal para aplicaciones de las fuerzas de seguridad. La guardia costera, las aduanas y la policía pueden beneficiarse del poder de la termografía para controlar actividades ilegales a distancia. Día y noche.

Verán con claridad lo que ocurre y permanecerán ocultos.



Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Sistema de seguimiento de video.



Imagen-en-imagen.



Las series MU y MV le permiten acercar la imagen y examinar a fondo la situación.

Un segmento muy prometedor del sector marítimo es la categoría de los yates. Cada vez más armadores de yates incluyen cámaras de imagen térmica entre los equipos de sus barcos.

Uno de los primeros en darse cuenta del potencial de esta innovadora tecnología fue Norberto Ferretti, presidente del Grupo Ferretti. «He estado utilizando cámaras térmicas durante cuatro o cinco años y puedo afirmar que son instrumentos muy útiles para mantener protegido el yate. De hecho, en algunas situaciones es mejor que el radar».



Ejemplo comercial:

La serie M de las cámaras de imagen térmica FLIR permite un movimiento continuo de 360° en el plano horizontal y de +/-90° en el plano vertical. Consta de una cámara térmica que produce imágenes térmicas nítidas de 640 x 480 píxeles y una cámara de luz diurna y baja luminosidad.

Potente, flexible y diseñada para durar, la galardonada serie M es la línea de alta calidad de sistemas de visión térmica nocturna de FLIR.

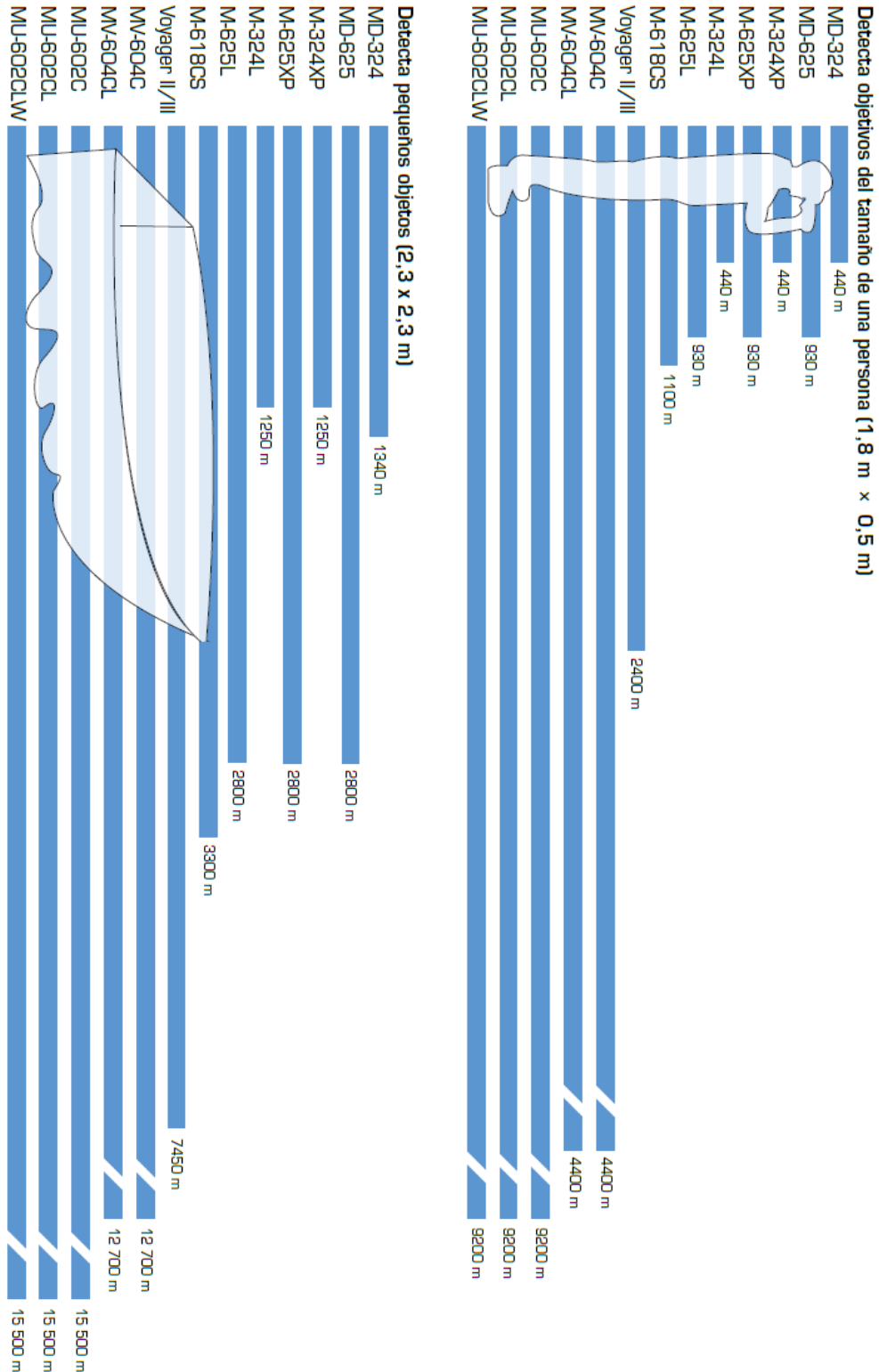
Disponibles con gran variedad de sensores y resoluciones para satisfacer cantidad de necesidades de navegación marítima, evitación de colisiones, seguridad, búsqueda y rescate, la serie M es fácil de instalar, integrar y manejar. Los sistemas de la serie M de FLIR utilizan la conectividad Ethernet para que la instalación, el control y la comunicación con otros equipos electrónicos de a bordo sean fáciles. Su robusta carcasa impermeable de posicionamiento horizontal y vertical proporciona una panorámica continua de 360 y una inclinación de +/- 90.



Las cámaras de imagen térmica de la serie M y la serie portátil HM de FLIR ofrecen visión nocturna perfecta, pero eso no es todo: según Ferretti, también pueden utilizarse durante el día. «En algunas ocasiones es difícil ver restos flotantes, rocas u otros peligros que podrían averiar el barco porque son del mismo color que el entorno. Es como si estuvieran camuflados. Pero con la cámara de imagen térmica de FLIR se puede distinguir con mucha facilidad ese tipo de restos desde una gran distancia, porque se distinguen con mucha claridad en la imagen térmica.



Alcance según modelos de Flir:



Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Tabla de especificaciones:

Serie M



Especificaciones termográficas	M-324XP	M-625XP	M-324L	M-625L	M-618CS
Tipo de sensor	Microbolómetro de VOx de 320 x 240	Microbolómetro de VOx de 640 x 480	Microbolómetro de VOx de 320 x 240	Microbolómetro de VOx de 640 x 480	Microbolómetro de VOx de 640 x 480
Campo de visión	24 x 18 NTSC	25 x 20 NTSC	24 x 18 NTSC	25 x 20 NTSC	18 x 14 NTSC
Longitud focal	19 mm	25 mm	19 mm	25 mm	35 mm
Zoom electrónico	2x	2x & 4x	2x	2x & 4x	2x & 4x
Procesamiento de imágenes	FUR Proprietary Digital Detail Enhancement				
Especificaciones de imagen diurna					
Tipo de detector	N/D		CCD de transferencia interlineal para baja luminosidad de 1,27 cm		CCD en color
Líneas de resolución	N/D		768 (A) x 494 (V)		530
Iluminación mínima	N/D		100 µlx (a f/1,4)		1,4 lux
Campo de visión	N/D		Adaptado a IR		58 (A) x 43 (V) con zoom óptico de 10x adaptado a IR
Especificaciones del sistema					
Tamaño	178 mm x 285 mm.				178 mm x 291 mm.
Peso	~4 kg				~5,2 kg
Cobertura horizontal y vertical	Panorámica continua de 360, inclinación de +/-90				
Estabilización	N/D				2 ejes, giroestabilización
Instalación	Hacia arriba o hacia abajo				Solo hacia arriba
Salida de video	NTSC o PAL				
Tipos de conector	BNC con adaptador BNC a RCA incluido para salida de video				
Requisitos de alimentación	12 VCC a 24 VCC (-10 %/+30 %)				
Consumo de energía	25 W nominal; 50 W máx.				
Especificación ambiental					
Intervalo de temperatura de funcionamiento	De -25 C a +55 C				
Intervalo de temperatura de almacenamiento	de -40C a +85C				
Deshielo de ventana automático	Estándar				
Arena/polvo	Mil-Std-810F				
Entrada de agua	IPx6 (aguas agitadas, potentes chorros de agua)				
Golpes	15 g vertical, 9 g horizontal				
Vibración	IEC 60945; MIL-STD-810E				
Protección contra descargas	Estándar				
Niebla salina	IEC60945				
Eólica	100 nudos (115,2 mph)				
EMI	IEC 60945				
Rendimiento de alcance térmico ¹					
Detección de personas (1,8 m x 0,5 m)	440 m	930 m	440 m	930 m	1100 m
Detección de pequeñas embarcaciones (2,3 x 2,3 m)	1250 m	2800 m	1250 m	2800 m	3300 m
Paquete estándar	Cabezal de la cámara con latiguillos de 45,72 cm para alimentación, video analógico y Ethernet, unidad de control mediante joystick, manual del operador, cable Ethernet sin halógenos y bajas emisiones de humo de 63,5 cm				
Garantía	3 años (con registro del producto)				
Accesorios opcionales	JCU de estación doble, cables Ethernet sin halógenos y bajas emisiones de humo y plataforma de montaje descendente.				

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



5.8.3. Termografía en la agricultura y geología.

La reflexión y emisión de radiación de los suelos está influenciada por el contenido de minerales, químicos, humedad, estructura, tamaño de las partículas y contenido orgánico del mismo.

Minerales y plantas emiten energía en rangos diferentes en el infrarrojo térmico (MWIR -LWIR) y, también, reflejan de diferente forma en el NIR (cercano infrarrojo) (ver figura 78).



Figura 78. Imagen infrarroja de unas plantas.

Existen innumerables aplicaciones de la termografía en el ámbito de la agricultura y la geología. Por ejemplo la inspección de un viñedo mediante un UAV VTOL como el de la figura 79. Este dispositivo consiste en un pequeño helicóptero teledirigido que lleva a bordo una cámara digital de video y una cámara infrarroja de 70 gramos de peso, que realiza inspecciones desde 50 y 30 metros de altura.

El resultado de la inspección aérea revela zonas del viñedo con posibles fugas de irrigación, así como zonas con vegetación muerta, carencia de agua y zonas con salud pobre.



Figura 79. UAV VTOL.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Además se pueden encontrar:

- Absorción de la clorofila (que ayuda a la identificación de las distintas especies de plantas).
- Análisis de la distribución de la irrigación del agua.
- Análisis de stress de la vegetación.
- Cartografía de las costas.
- Cartografía de zonas geológicas.
- Cartografía: límites tierra-agua.
- Contabilidad de animales.
- Determinación de estructuras de suelos regionales.
- Determinación de la humedad de la vegetación & suelo.
- Determinación de las condiciones de la tierra & asociaciones.
- Diferencia entre nieve y nubes (satélite).
- Diferenciar tierras y rocas sin consolidar- consolidadas.
- Discriminación de distintos tipos de madera.
- Discriminación de la vegetación y avalúo del vigor.
- Discriminación de minerales y tipos de piedra.
- Discriminación entre suelo y vegetación.
- Discriminación entre vegetación y cosecha.
- Erupciones volcánicas.
- Evaluación de impacto de una sequía.
- Evaluación del reflejo pico del verde (vegetación).
- Evolución de la cosecha y productividad.
- Identificación de las distintas especies de plantas.
- Identificación del tipo de bosque y forestación.
- Localización y seguimiento de fuentes geotérmicas.
- Mapeo de unidades geológicas mayores.
- Mapeo térmico de depósitos recientes de material volcánico.

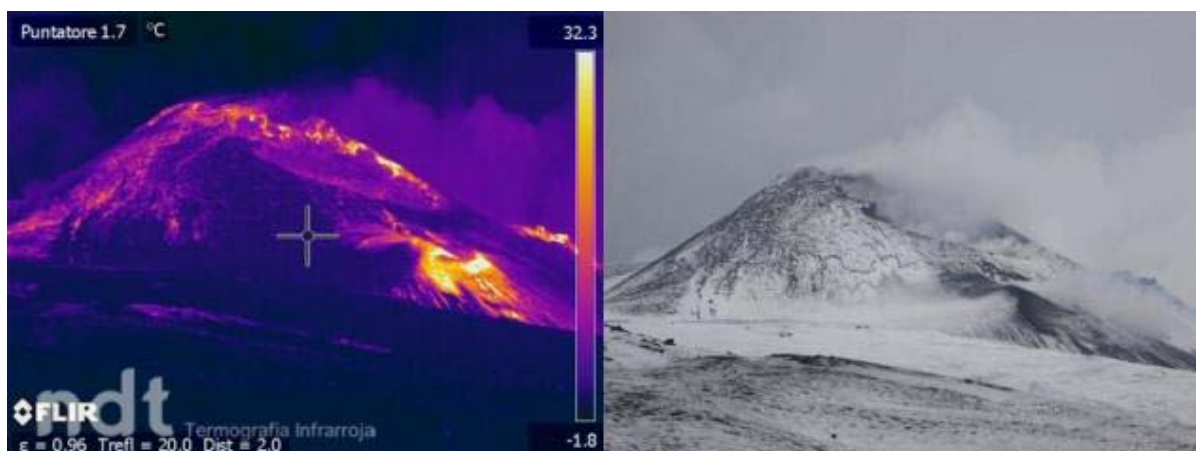


Figura 80. Termograma de una erupción volcánica.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Muchas de las aplicaciones en esta disciplina están ligadas a medidas remotas por satélite aunque mediciones con vuelos a baja a altura y mediciones a nivel de terreno son también utilizados.

5.8.4. Termografía en el arte y la restauración.

Son conocidos los problemas que la acción de los agentes atmosféricos causan a nuestro patrimonio monumental. El aumento de la contaminación atmosférica contribuye a aumentar las causas naturales del deterioro de las piedras que constituyen nuestro legado histórico. Lamentablemente, el conocimiento científico parcial de las causas que producen el denominado "mal de piedra", ha conllevado a restauraciones inapropiadas que, en no pocas ocasiones, lejos de solucionar el problema, han incrementado el proceso de deterioro o degradación.

La necesidad de encontrar métodos de diagnóstico rápido y eficiente, especialmente los denominados como técnicas de análisis no destructivos, ha dado lugar a la aplicación de la Termografía Infrarroja (TIR) y la Espectrorradiometría (ER) como herramientas de apoyo al estudio del deterioro de las piedras monumentales.

El "mal de piedra" es la alteración de las características primitivas de la roca, debida a su adaptación a las nuevas condiciones ambientales en que se encuentra.

Alteración que, en ambientes urbanos, es agravada por los altos índices de contaminación atmosférica. En algunos casos se han alcanzado tales grados de deterioro que han exigido programas específicos y urgentes de actuación, para poner a salvo la integridad del monumento (como es el caso de la Catedral de Burgos).

Al emprender las tareas de restauración de un monumento es de vital importancia conocer las causas de su degradación, así como el proceso que ha seguido a lo largo de los años. Para su investigación cobran gran importancia las técnicas no destructivas de análisis, puesto que éstas no significan ningún tipo de actuación sobre el monumento o destrucción de la muestra extraída de él.

Gracias a la termografía se puede detectar una mancha de humedad en una bóveda, o minúsculos agujeros en una vidriera de una iglesia. Pero también esta técnica es muy útil en la restauración de pinturas, detectando con ella humedades y daños que han podido sufrir con el paso de los años (figura 81).



Figura 81. Los Desposorios que pintó Goya, la escena del conjunto pictórico de Aula Dei que presenta más daños. Arriba, el detalle de una de las grietas de la pintura.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Los conservadores científicos de obras de arte analizan pigmentos, plagas de termitas o arrepentimientos (dibujos subyacentes en una pintura) con el fin de averiguar las incoherencias estilísticas, el grado de deterioro e incluso la autenticidad de un determinado bien cultural. Entre las técnicas que utilizan para resolver los enigmas ocultos de una obra están la reflectografía infrarroja, la microscopía electrónica de barrido o la termografía.

Con estas técnicas se tiene un diagnóstico certero de los problemas que sufren, y se consigue saber qué es lo que hay que hacer para devolverlas a un estado óptimo de conservación.

5.8.5. Fotografía infrarroja.

La percepción del color es un hecho puramente psíquico y subjetivo; los colores, tal como los vemos, no existen fuera objetivamente, sino que se originan a través de la retina, en nuestra pantalla psíquica interior. El rango del espectro lumínico -entre 700 y 1.200 nanómetros- que capta la fotografía infrarroja es invisible al ojo humano, y sus aplicaciones van desde el arte a la ciencia. Hoy en día se emplea mucho en el terreno de la fotografía artística.

La fotografía infrarroja, pues, necesita una cámara con un filtro infrarrojo y una película sensible a la longitud de onda que emiten los objetos a fotografiar. Debido a las características de las tonalidades pictóricas que se obtienen con las fotografías infrarrojas, muchos artistas como Seth Mayer, Lindsay Garret, Donald Aaby o el prestigioso Simon Marsden (figura 82) con sus instantáneas de corte gótico, han conseguido crear mundos espectrales o surrealistas.



Figura 82. Fotografía infrarroja de Simon Marsden.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



De entre las películas infrarrojas más populares, cabe destacar la Kodak infrared, y la Ilford sfx 200. Unas dan como resultado un color ficticio, y otras unos extraños tonos en blanco y negro.

5.8.5.1. Fotografía digital.

Con el 'boom' de la fotografía digital, la técnica clásica de la fotografía infrarroja ha ido perdiendo adeptos. Hoy en día, experimentar con el infrarrojo en cámaras fotográficas digitales es posible en algunos casos inhabilitando a éstas el filtro "hot mirror" que las protege de esa radiación. Con esta simple operación se puede conseguir que algunas máquinas digitales del mercado, acoplándolas un filtro infrarrojo, consigan fotografías infrarrojas.

Los filtros infrarrojos tienen como misión suprimir la radiación ultravioleta y la totalidad o gran parte del espectro visible, dejando pasar a través del objetivo de la cámara solamente el espectro infrarrojo. Sin el filtro de infrarrojo, la película absorbería todo el espectro y dejaría el negativo inservible.

En el mercado se pueden encontrar diversos tipos de filtro infrarrojo, para según los casos o criterios personales. Se diferencian en la cantidad de espectro infrarrojo que dejan pasar. A mayor cantidad de espectro infrarrojo, el efecto en la película será también más acusado.



Figura 83. Torre Eiffel.

Para conseguir ese efecto también se puede experimentar con programas de retoque fotográfico, como Photoshop u otros. Aunque esta alternativa es ampliamente denostada por los auténticos puristas aficionados a esta técnica fotográfica.



Capítulo 6. Aplicación Práctica

6.1. Objetivo.

El objetivo del presente capítulo es aplicar la teoría descrita en el proyecto mediante una aplicación práctica. En él, se realizará una serie de capturas de imágenes infrarrojas a través del método de termografía pasiva para su posterior análisis valorando comparativamente, es decir, una inspección cualitativa. Dicho análisis nos permitirá demostrar la posibilidad del reconocimiento de discontinuidades a través de la termografía.

6.2. Desarrollo de la práctica.

El desarrollo de la práctica se va a llevar a cabo en instalaciones eléctricas, equipos rotativos, sistemas de refrigeración, etc., de dos embarcaciones, una perteneciente a la Sociedad de Salvamento y Seguridad Marítima y la otra una empresa privada de remolcadores propiedad de Vicente Boluda:

MIMOSA: Embarcación de intervención rápida “Salvamares”.

V.B. CARTAGENA: Buque remolcador de puerto, altura y de salvamento.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



6.2.1. Hardware e instrumental utilizado.

Para cumplir el objetivo descrito es necesario un sistema de captura de imágenes infrarrojas.

La toma de imágenes se llevó a cabo con un equipo termográfico de la marca Flir y modelo T-400 con las siguientes características principales:



CARACTERISTICAS PRINCIPALES	FLIR T-400
Campo de Visión (FOV) / Distancia Mínima de Enfoque.	25 ° x 19 ° / 0,4 m
Sensibilidad Térmica (mK)	< 0,05 °C @ + 30°C / 50 mK
Tipo de Detector	Matriz de Plano Focal (FPA) microbolómetro
Resolución Infrarroja	320 x 240 pixeles
Resolución cámara visible	1280x1024 (1,3mpx)
Rango Espectral	7,5 a 13 μ m
Zoom Digital y Panorámico/ enfoque	x1 – x 2 continuo / enfoque automático y manual
IFOV (lente de 25 °)	1,36 mRad
Rango de Temperaturas	-20 ° C a 120 ° C / 0 ° C a 350 ° C
Precisión	± 2 ° C o ± 2 % de la lectura

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Además se utilizó un termómetro infrarrojo para contrastar la toma de datos in situ.

6.2.1.1. Características a tener en cuenta en una cámara Termográfica.

Existen básicamente seis requisitos esenciales que se deben evaluar al ponderar una combinación apropiada de la cámara termográfica, el software y la formación:

1. Calidad de la imagen.
2. Sensibilidad térmica.
3. Precisión.
4. Funciones de la cámara.
5. Software.
6. Demandas de formación.

1. Calidad de la imagen.

- *Tipo de detector*: Conocido también como microbolómetro. Se consiguen de distintos materiales (GaAs, InSi). Versiones refrigeradas o no.
 - *Resolución*: Es la cantidad de detectores simples (píxeles) dispuestos sobre la pastilla del microbolómetro. La resolución del detector de infrarrojos sea $> 160 \times 120$ píxeles, y la resolución de la pantalla LCD sea $\geq 640 \times 480$ píxeles.
 - *Rango espectral*: Banda del espectro IR a la cual el material de la lente es altamente transmisivo. Para cámaras convencionales: $8 - 14 \mu\text{m}$, para detección de gases: $3 - 5 \mu\text{m}$. Se utiliza silicio como material de lente (el vidrio es un pobre transmisor en la banda de IR).
 - *Campo de visión (FOV: field of view)*: Área neta vista empleando una lente específica.. Las lentes teleobjetivos tienen alcances superiores por contar con un FOV más pequeño. Típicamente $32^\circ \times 24^\circ$ para lentes standard y $12^\circ \times 9^\circ$ para lentes teleobjetivo.
 - *IFOV (instantaneous field of view)*: mínimo objeto detectable a una distancia dada. También se define como resolución espacial. Unidades: mrad. Idealmente, el mínimo objeto detectable es el IFOV. En la práctica, el mínimo objeto detectable = $3 \times \text{IFOV}$ (3 píxeles del detector IR) para cámaras que interpolan la resolución del detector (técnica para duplicar la resolución del detector).
 - *Tasa de refresco*: Es la frecuencia de captura de cuadros parciales que definen la imagen. Una imagen en tiempo real requiere un alto refresco.
- El costo del equipo va de acuerdo a estas especificaciones.

La calidad de la imagen o resolución de la cámara es un factor importante. Los modelos básicos más económicos tienen una resolución de 60×60 píxeles, mientras que los modelos avanzados de alta gama tienen una resolución de 640×480 píxeles. Las cámaras termográficas con una resolución de 320×240 o 640×480 píxeles ofrecen una calidad de imagen superior.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Para inspecciones mas avanzadas, la resolución de 640 x 480 pixeles se esta convirtiendo en la referencia para los termógrafos profesionales. Una cámara con 640 x 480 pixeles tiene 307.200 puntos de medición en una imagen, cuatro veces mas que una cámara con 320 x 240 pixeles y 76.800 puntos de medición. No solo mejora la precisión de la medición, sino que también existe una gran diferencia en la calidad de la imagen. Una alta resolución ayuda a ver, medir e interpretar con mayor precisión.

Las cámaras de alta resolución muestran pequeños detalles incluso en observaciones a larga distancia. Comparada con una cámara de calidad de imagen inferior, puede ver una zona mayor sin perder información térmica. Mediante una cámara de 640 x 480 pixeles equipada con una lente de 45 grados, es posible inspeccionar un área de alrededor de 4 m x 3 m a 5 metros de distancia con solo una imagen. Para inspeccionar la misma instalación con una cámara de 320 x 240 pixeles con una lente también de 45 grados, se necesitarían cuatro imágenes a la mitad de distancia. Esto no solo aumenta la eficiencia sobre el terreno, sino que la menor cantidad de imágenes que se toman ahorra tiempo en la fase de documentación.

2. Sensibilidad térmica.

- *Sensibilidad térmica (NETD: Noise equivalent temperature difference):* típico +/- 0,1 K a 30°C.

La sensibilidad térmica define la magnitud de una diferencia de temperatura que la cámara puede detectar. Mientras mejor sea la sensibilidad térmica, menor será la diferencia de temperatura minima que la cámara termografica puede captar y mostrar. Por lo general, la sensibilidad térmica se describe en oC o mK. Las cámaras termográficas mas avanzadas para aplicaciones en edificios tendrán una sensibilidad térmica de 0,03 °C (30 mK).

La capacidad de detectar estas diferencias de temperatura en minutos es importante en la mayoría de las aplicaciones termográficas. Una alta sensibilidad de la cámara es particularmente importante en aplicaciones de construcción, en las que las diferencias de temperatura suelen ser bajas. Se necesita una mayor sensibilidad para capturar imágenes mas detalladas y, por tanto, un mejor diagnostico para acciones anteriores. Cuanto mayor sea la sensibilidad, mejor será la cámara para capturar los detalles de imagen más precisos, incluso diferencias de baja temperatura.



3. Precisión.

Todas las mediciones pueden presentar errores y, desafortunadamente, las mediciones de temperatura con termografía no son una excepción. Aquí es donde la precisión termografica entra en escena.

En los documentos técnicos de la cámara termografica, la precisión se expresa en porcentajes y en grados centígrados. Este es el margen de error en el que operara la cámara. La temperatura medida puede variar desde la temperatura real al porcentaje mencionado o la temperatura absoluta, la que sea mayor.

El estándar del sector actual para la precisión es de $\pm 2\%$ / $\pm 2^\circ\text{C}$. Las cámaras termográficas mas avanzadas de FLIR Systems obtienen una puntuación aun mejor: $\pm 1\%$ / $\pm 1^\circ\text{C}$.

4. Funciones de la cámara.

Emisividad y temperatura aparente reflejada.

La emisividad del objeto es un parámetro muy importante que se debe tener en cuenta. Todas las cámaras termográficas de FLIR para aplicaciones de construcción permiten al operador definir la emisividad y la temperatura aparente reflejada. La capacidad de definir la temperatura aparente reflejada y la emisividad marca una gran diferencia. Al adquirir una cámara termografica es recomendable que se asegure de que estas funciones están incluidas.

Intervalo y corrección de niveles manual.

Otra importante función de la cámara es la opción de definir manualmente el intervalo y el nivel de las termográficas mostradas. Sin esta función, la cámara mostrara de forma automática todas las temperaturas entre la temperatura máxima y la minima de la escena. Sin embargo, en ocasiones, el operador solo esta interesado en una pequeña parte de esa escala de temperaturas.

Alarma de condensación, humedad relativa y aislamiento.

- Alarma de condensación:

El punto de condensación se puede considerar como la temperatura en la que la humedad de cierto volumen de aire se convierte en agua. En este punto, la humedad relativa es del 100%.

Estableciendo un número de parámetros en la cámara, la alarma de condensación detectara de forma automática las zonas en las que puede tener lugar debido a deficiencias en la estructura del edificio.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



- Alarma de humedad relativa:

En algunas situaciones puede crecer moho en zonas en las que la humedad relativa sea menos del 100%. Para detectar dichas zonas, no se puede usar la alarma de condensación ya que solo detecta las zonas en las que la humedad relativa es del 100%. Para detectar las zonas en las que la humedad relativa es de menos del 100% se puede utilizar la alarma de humedad relativa.

Puede establecer el porcentaje de humedad relativa a partir del cual desea que se active la alarma.

- Alarma de aislamiento:

La alarma de aislamiento detecta las zonas en las que puede haber una deficiencia de aislamiento en el edificio. Se activa cuando el nivel de aislamiento cae por debajo de un valor preestablecido de fuga de energía a través de la pared.

Cámara digital.

Algunas veces puede ser difícil ver que componentes son los que aparecen en una termografía. En estos casos, puede resultar muy útil tomar también una imagen con luz visible del objetivo.

La mayoría de las cámaras termográficas de FLIR poseen una cámara digital integrada. La mayor parte de los profesionales de la construcción que usan cámaras termográficas afirman que siempre toman una imagen con luz visible, para asegurarse de conocer lo que se muestra en la termografía.

Incluya lámpara de iluminación.

Luces LED.

Disponer de una luz en la cámara garantiza que la cámara digital integrada de luz visible pueda producir imágenes claras, necesarias para aprovechar al máximo las funciones Imagen-en-imagen y Fusión térmica, independientemente de las condiciones de iluminación.

Imagen-en-imagen.

Mediante la función Imagen-en-imagen, el operador puede combinar imágenes de la cámara digital y la cámara termográfica.

La imagen combinada muestra un recuadro sobre la foto digital con una sección de la termografía que se puede desplazar y cambiar de tamaño. Esto permite al operador localizar mejor los problemas.

Proyecto: *Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.*

Autor: *Francisco Javier Villaescusa Egea.*
Director: *Federico López-Cerón de Lara*



Fusión térmica.

Esta función permite al operador combinar sin problemas dos imágenes definiendo parámetros de temperatura dentro de los que se muestran datos térmicos y fuera de los cuales se muestra la foto digital. Esto ayuda a aislar los problemas y a realizar reparaciones más eficientes.

Puntero láser.

Algunas cámaras termográficas cuentan con un puntero láser integrado. Hay varias razones por las que esta característica es importante.

El puntero láser permite ver con precisión hacia donde enfoca la lente de la cámara termografica. Con solo pulsar un botón, la posición del láser le permitirá ver exactamente hacia donde enfoca la cámara termografica, lo que le permite identificar fácilmente el objetivo de medición sin tener que hacer conjeturas.

Otra razón es la seguridad. El puntero láser elimina la tendencia de apuntar con el dedo a los objetos, lo que puede resultar peligroso en algunos contextos.

Lentes intercambiables.

Cuando empiece a usar una cámara termografica y descubra todas sus posibilidades, es posible que cambien sus necesidades. Con las lentes intercambiables, puede adaptar su cámara termografica a cualquier situación. Para la mayoría de las situaciones, las lentes estándares pueden ser una buena solución, sin embargo, en ocasiones necesita un campo de visión distinto.

Tamaño, ligereza y ergonomía.

Fácil reemplazo de la batería para continuar trabajando.

Exportación de imágenes en formato JPEG.

Proporciona una imagen JPEG completamente radiometría. Esto quiere decir que toda la información de temperatura se incluye en la imagen y que las imágenes se pueden integrar fácilmente en software estándar.



5. Software.

Tras realizar la inspección, es probable que tenga que presentar los resultados de la misma a sus compañeros o clientes. El análisis de termográficas y la creación de informes de inspección completos son tareas importantes. Es recomendable que se asegure de que su cámara termografica incluye un paquete de software básico que le permita hacerlo.

La mayoría del software incluido en cámaras termográficas le permitirá hacer informes y análisis básicos. Se incluirán herramientas para realizar mediciones de la temperatura en un solo punto u otro tipo de mediciones básicas. Si necesita mas opciones de análisis e informes, el fabricante de la cámara termografica debe ofrecer un paquete de software mas avanzado y ser actualizable. Es decir, capacidad de ampliación de software y accesorios.

6. Demandas de formación.

FLIR coopera con el Centro de formación en infrarrojos (ITC), una empresa de formación global que funciona según los estándares mundiales. El ITC ofrece desde breves cursos de introducción hasta cursos de certificación. Para obtener más información, visite www.infraredtraining.com o www.irtraining.eu.

6.2.2. Software.

Para el análisis de las imágenes obtenidas mediante nuestra cámara infrarroja, se utiliza Flir Tools 3.0, software libre desarrollado por el fabricante de la cámara Flir Systems.

A través de este programa se consigue un termograma, coloreando la imagen IR obtenida según la emisividad de rayos infrarrojos. De esta manera es más fácil distinguir las diferentes temperaturas de los cuerpos captados en la imagen.



Figura 84. Ejemplo de muestra Infrarroja y digital de la captura en el Software

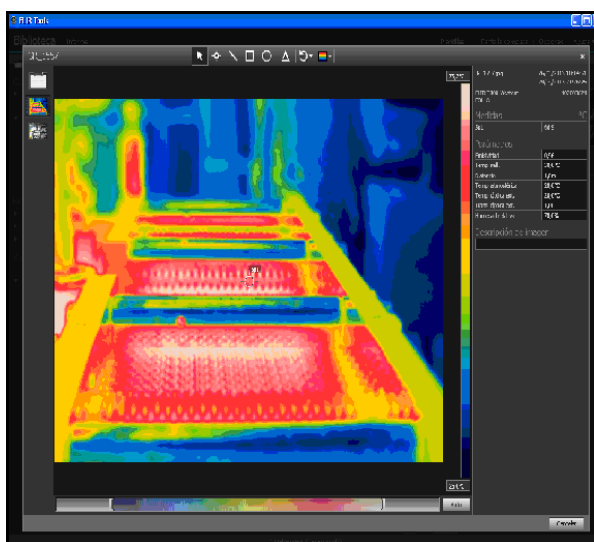
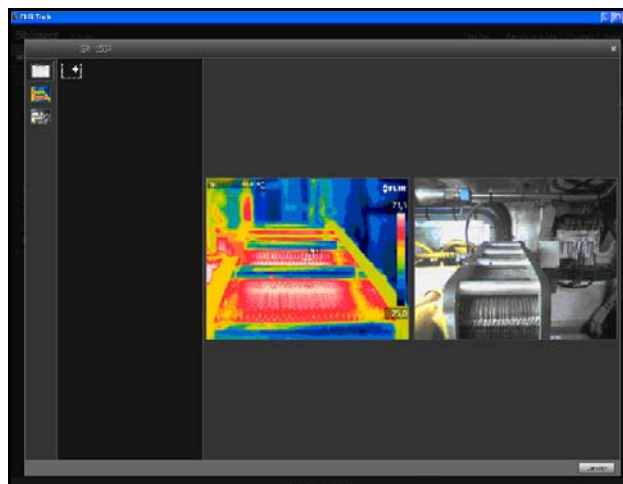


Figura 85. Ejemplo de muestra Infrarroja de la captura en el Software

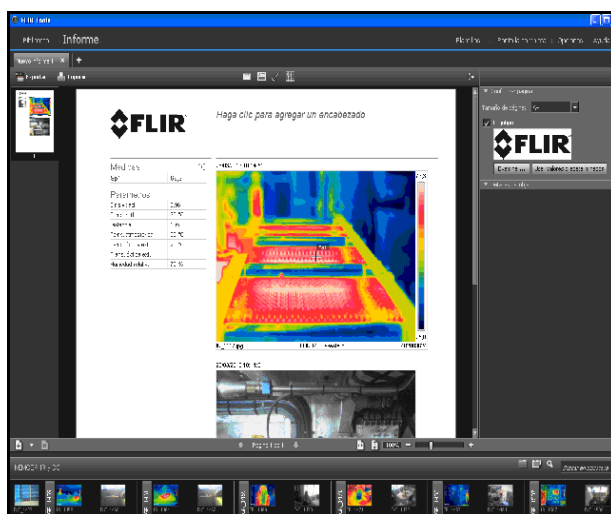


Figura 86. Ejemplo de muestra Infrarroja y digital de la captura en el formato del informe del Software.



6.2.3. Análisis de las imágenes.

6.2.3.1. Hechos clave sobre la termografía.

Hay cinco datos clave sobre la termografía infrarroja que debemos conocer antes de hablar de ningún método.

1. Las imágenes infrarrojas muestran sólo los patrones de temperatura de la superficie. Miden la energía infrarroja que se emite y refleja de una superficie, y muestran ésta energía como una imagen.
2. Las cámaras infrarrojas proporcionan una gran visión de una situación puntual en el momento de la toma de los datos. La energía infrarroja registrada en la imagen es la suma de la energía emitida y reflejada desde la superficie. De este modo precisar las mediciones de temperatura es poco probable sin el conocimiento de la emisividad de la superficie y de la temperatura aparente reflejada. Por lo que existe una complejidad añadida a la hora de dar estos datos con exactitud.
3. Estas imágenes requieren una interpretación. Para que dicha imagen sea útil hay que conocer y documentar todos los aspectos que la rodean, así como el equipo utilizado y el elemento estudiado.
4. Para obtener conclusiones fiables se necesita la validación de datos con otras herramientas, como pueden ser termómetros infrarrojos, sensores de humedad o realizar mediciones de la transmitancia. No importa que la imagen no sea muy convincente, no debemos tomar esta única prueba como concluyente.
5. Las imágenes infrarrojas suelen proporcionar respuestas útiles a primeras preguntas. Pero a su vez estas respuestas plantean preguntas más difíciles y complejas. Con alguna de estas imágenes podríamos concluir que un equipo o instalación posee un problema o esta mal aislado, pero ante esta respuesta se nos plantean otras preguntas como pueden ser, la cantidad de energía que pierde o como paliar estas pérdidas, según entorno o circunstancias.



6.2.3.2. Práctica y protocolo de medida.

A continuación vamos a describir los aspectos más destacados que intervienen a la hora de llevar a la práctica la termografía, intentando con ello resolver las dudas que a nosotros mismos se nos han ido planteando con el uso de este equipo:

A) RANGO DE MEDICIÓN. LA ESCALA.

El rango de medición de una cámara termográfica nos indica las temperaturas de los objetos que pueden llegar a medir. Las temperaturas medidas en una termografía se emparejan con los colores de la escala. La función de auto escalado del equipo de medición nos posibilita la adecuación automática de la escala a los valores actuales en el momento de la toma de datos. El valor de temperatura medido más bajo y más alto se ajustan como los valores límite de la escala, que se actualiza constantemente.

De este modo, la imagen que obtenemos en tiempo real está en constante modificación para mostrar siempre la imagen virtual coloreada más óptima.

Otra opción es ajustar tanto el límite inferior como el límite superior de la escala de forma que solo se muestren en el visualizador las temperaturas entre ambos límites, de modo que veamos mucho mejor los detalles de los objetos medidos. En cierto modo, nos sirve para obviar zonas u objetos irrelevantes para la medición.



B) REPRESENTACIÓN VISUAL EN PALETAS/COLORES.



Figura 87. Representación visual en diferentes colores.

La forma más sencilla con la que podemos identificar la radiación infrarroja en una imagen es representarla con diferentes colores o paletas. La escala de grises es una de las escalas más plásticas pero que más nos cuesta interpretar, debido a la falta de contraste que no ayuda a interpretar de forma sencilla esta radiación.

La paleta de hierro suele utilizarse como ejemplo para aquellos que están menos familiarizados con estas escalas, ésta se representa utilizando los mismos colores por los que pasa el hierro cuando se funde, por lo que nos resulta mas intuitiva, destacando los colores mas claros conforme la temperatura representada se eleva.

Por el contrario, si la prioridad es enfatizar los contrastes, la paleta Arco iris es la que mas se adecua a nuestras necesidades, como es en el caso de este proyecto.

C) PARAMETROS DEL OBJETO/SUPERFICIE DE MEDICIÓN.

Cuando realizamos una termografía, siempre debemos medir en un punto del que conozcamos su emisividad.

Prácticamente la totalidad de los elementos que analizamos en este proyecto se pueden medir sin dificultades. La emisividad de todos los materiales que habitualmente se han utilizado en el ensayo se encuentra entre 0,8 y 0,95.

Por el contrario nos podemos encontrar, con metales, superficies pulidas, brillantes, rugosas o estructuras cambiantes que son más difíciles de medir. Normalmente, su emisividad es baja y se ve alterada si la temperatura del objeto que medimos también cambia. Para poder medir correctamente, deberíamos colocar algún recubrimiento que corrigiese los problemas que genera una emisividad tan baja.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



D) DETERMINACIÓN DE LA EMISIVIDAD.

La emisividad nos da una medida de capacidad superficial para emitir radiación infrarroja. Si no la conocemos, no podemos medir correctamente con una cámara termográfica. Para determinar la emisividad de la superficie del objeto que vamos a medir tenemos varias formas. A continuación se exponen tres de las más habituales.

1. Aplicando valores de una tabla de emisividad. Debemos tener en cuenta que estos valores tan solo nos sirven como orientación.
2. Medición comparativa con un termómetro de contacto. Medimos primero la temperatura de la superficie del objeto con un termómetro de contacto y posteriormente medimos los objetos con la cámara termográfica teniendo la emisividad ajustada a uno. La diferencia en temperatura que obtengamos se debe a que el valor de emisividad que hemos ajustado en la cámara es demasiado alto ($\epsilon=1$). Por tanto, debemos ajustar la emisividad gradualmente hasta que la temperatura detectada por la cámara corresponda con la del termómetro de contacto.
3. Medición comparativa con la cámara misma. Adheriremos un trozo de cinta adhesiva con una emisividad conocida ($\epsilon=0.95$) al objeto a medir. Conociendo la emisividad de la cinta adhesiva y tras un breve periodo de adaptación podemos medir la temperatura del objeto apuntando a la cinta. Este valor nos sirve como temperatura de referencia. Entonces ajustaremos la emisividad hasta que la cámara muestre la misma temperatura en una zona sin cinta que en una zona con la cinta de emisividad conocida.

E) DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE LA RADIACIÓN REFLEJADA.

Imaginemos que estamos midiendo la temperatura de las paredes de una habitación con una cámara termográfica. En dicha estancia también hay un radiador encendido. El radiador emite calor radiante en todas direcciones, también hacia la pared que estamos midiendo; esta pared refleja el calor de ese radiador.

Como consecuencia esta temperatura reflejada influye en el resultado de la medición. Tal y como ocurría con la emisividad, deberemos determinar y ajustar dicha temperatura en nuestra cámara.

En muchos casos, la temperatura reflejada coincide con la temperatura ambiente. Sin embargo, hay factores como el radiador o la radiación celestial fría que interfieren en el lugar de la medición, por lo que deberemos determinar esta temperatura reflejada mediante un radiador Lambert.



Un radiador Lambert es un objeto que refleja la radiación incidente con la difusión óptima, es decir, con la misma intensidad en todas direcciones. Podemos calcular la temperatura reflejada manualmente por aproximación con la ayuda de un radiador Lambert improvisado, para lo que necesitaremos una lámina de aluminio arrugada y alisada de nuevo. Situaremos esta lámina cerca o sobre el objeto a medir; a continuación mediremos la temperatura de la lámina con la emisividad ajustada a 1 en la cámara. La temperatura medida estará bastante cerca de la temperatura real reflejada por lo que el valor emitido lo debemos ajustar en la cámara para poder obtener valores de medición correctos.

F) CONDICIONES AMBIENTALES.

Para efectuar correctamente una medición con la cámara termográfica debemos tener en cuenta las siguientes condiciones ambientales:

1. Temperatura ambiente.

Como ya hemos comentado, la temperatura ambiente influye en la temperatura reflejada. En muchos casos tan solo hay unos pocos grados Celsius entre la temperatura ambiente y la temperatura reflejada.

2. "Radiación celestial fría difusa" / sol.

La radiación infrarroja que nos llega del cielo raso se conoce coloquialmente como "radiación celestial fría". En días despejados, el objeto a medir normalmente refleja la "radiación celestial fría" y la radiación solar cálida. Por lo tanto, un cielo nuboso presenta las condiciones ideales para que podamos medir en exteriores, ya que de esta forma no nos llega la radiación celestial fría.

3. Humedad.

La humedad relativa debe ser baja para prevenir la condensación en el objeto a medir, aun así, el valor medido in situ se introduce en la cámara.

4. Corrientes de aire.

Una corriente de aire puede afectar al objeto medido puesto que la convección arrastra el calor de un objeto cálido y la transfiere a un objeto frío hasta que las temperaturas del aire y del objeto se han igualado.

5. Polución ambiente.

Algunas materias suspendidas, como el humo, el hollín o el polvo muestran gran emisividad y apenas permiten el paso o la transmisión de la radiación infrarroja. Las partículas mismas de la contaminación emiten rayos caloríficos, también detectados por la cámara. Consecuentemente, la radiación infrarroja del objeto medido solo llega a la cámara parcialmente. Esta interferencia puede nos puede llegar a causar problemas hasta el punto de no dejarnos efectuar la medición mediante termografía de una forma correcta.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

*Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara*



6. Luz.

La luz no tiene un impacto significativo en la medición con una cámara termográfica. En principio, también podríamos efectuar mediciones en la oscuridad.

No obstante, algunas fuentes de luz emiten radiación infrarroja y por tanto afectan a la temperatura de los objetos. Por tanto, no debemos efectuar mediciones cerca de una bombilla incandescente.

G) REFLEXIONES.

Las reflexiones muy a menudo pueden ser una fuente de error que debemos considerar.

La radiación siempre se refleja en el mismo ángulo con el que incide en la superficie.

$$\text{Ángulo de incidencia} = \text{Ángulo de reflexión}$$

Si la radiación infrarroja se refleja equitativamente, por ejemplo en un cristal, entonces se produce la reflexión especular.

Por el contrario, si los rayos infrarrojos inciden en superficies irregulares, se reflejan en varias direcciones. Esta reflexión difusa provoca que no se pueda crear ninguna reflexión especular.

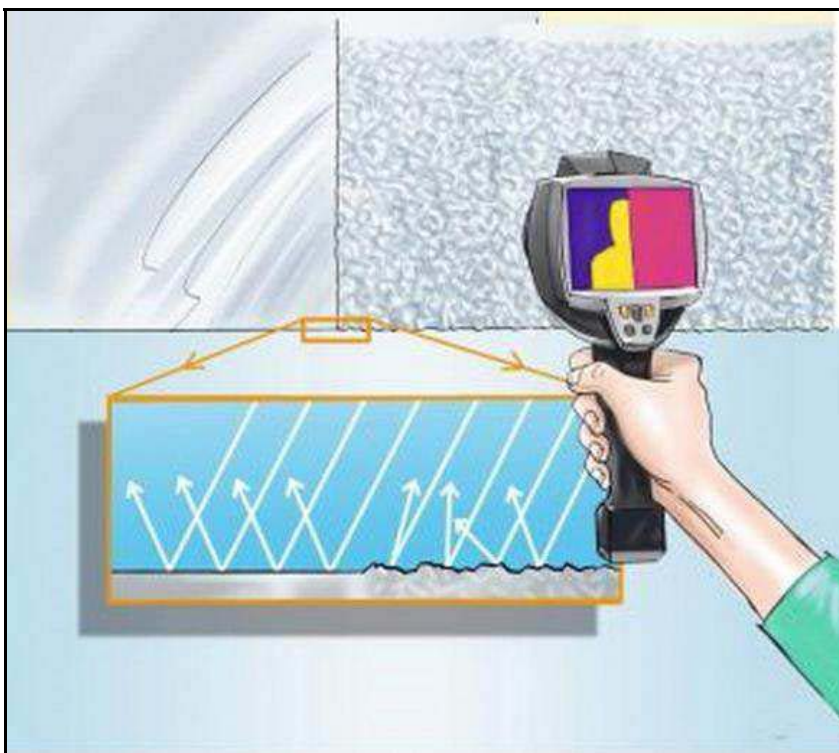


Figura 88. Reflexión en diversas superficies.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



6.2.4. Desarrollo de la ficha o informe modelo.

La ficha propuesta pretende exponer los datos necesarios para hacer un estudio tipológico de un conjunto de equipos eléctricos y/o mecánicos que componen las instalaciones de la cámara de máquinas de una embarcación.

La creación de una ficha que aúne los datos más relevantes para llevar a cabo el estudio tipológico, ha sido una de las partes más interesantes del proyecto.

Centrando especial atención en aquellos equipos, instalaciones o máquinas más vulnerables a la detección de problemas, concretamente donde existen variaciones de temperatura constantemente.

PAUTAS:

Inspección:

La preparación de la inspección debe incluir la elección del tipo de informe adecuado. Suele ser necesario utilizar equipo complementario, como amperímetros, para medir la corriente en los circuitos en los que se han encontrado defectos. Se necesitará un anemómetro si se desea medir la velocidad del viento durante la inspección de equipos exteriores, higrómetro para medir la humedad relativa y termómetro para medir la temperatura ambiente.

Las funciones automáticas ayudan al operador a visualizar una imagen de infrarrojos de los componentes con el contraste adecuado para identificar fácilmente un fallo o punto caliente. Resulta casi imposible pasar por alto un punto caliente en un componente examinado. Una función de medición también muestra automáticamente el punto más caliente dentro de una zona de la imagen, o bien la diferencia entre la temperatura máxima de la zona seleccionada y una referencia que puede elegir el operador, por ejemplo la temperatura ambiente.

Cuando el fallo está claramente identificado y el termógrafo ha comprobado que no es un reflejo ni un punto caliente producido de forma natural, comienza la recopilación de datos, que permite realizar un informe adecuado sobre el fallo. La emisividad, la identificación del componente y las condiciones de trabajo reales, junto con la temperatura medida, son algunos de los elementos que se utilizarán en el informe. Para que resulte más sencillo identificar el componente, normalmente se toma una imagen digital visual del defecto.



Clasificación e informes:

Tradicionalmente, la generación de los informes ha sido la etapa del proceso en la que se emplea más tiempo. Una inspección de un día puede requerir uno o dos días de trabajo para clasificar los defectos detectados y generar un informe sobre ellos. Esta situación sigue dándose en el caso de muchos termógrafos, que han decidido no aprovechar las ventajas que los equipos informáticos y el software de informes actual ha proporcionado a la supervisión de estado por infrarrojos.

La clasificación de los defectos proporciona un medio con más detalles que no solo tiene en cuenta la situación en el momento de la inspección (que ciertamente tiene gran importancia), sino también la posibilidad de normalizar los excesos de temperatura para que se ajusten a situaciones de carga y temperatura ambiente normales.

Un exceso de temperatura de +30°C es ciertamente un fallo significativo. Pero si ese exceso de temperatura es válido para un componente que funciona con una carga del 100% y para otro que funciona al 50%, resulta evidente que el último alcanzará una temperatura mucho más elevada si su carga aumenta del 50% al 100%. Este estándar puede elegirse en función de las circunstancias de los elementos. No obstante, lo más frecuente es realizar predicciones de temperaturas para una carga del 100%.

Un estándar hace que resulte más sencillo comparar los fallos a lo largo del tiempo y, por tanto, realizar una clasificación más completa.

Prioridad:

Según la clasificación de las indicaciones, el superior inmediato del cliente fijará la prioridad de las reparaciones. Muy a menudo, la información recopilada durante el informe de infrarrojos se añade a información complementaria sobre el equipo recopilada por otros medios, como la supervisión de vibraciones, los ultrasonidos o el mantenimiento preventivo programado.

Aunque la inspección de infrarrojos se está convirtiendo rápidamente en el método más utilizado para recopilar información sobre los componentes eléctricos/mecánicos de forma segura con el equipo en condiciones normales de funcionamiento, hay muchas otras fuentes de información que el jefe de producción/dirección debe tener en cuenta.

Por lo tanto, la prioridad de las reparaciones no debe ser una tarea que corresponda al operador de la cámara de infrarrojos en situaciones normales. Por supuesto, si se detecta una situación crítica durante la inspección o la clasificación de los defectos, es necesario ponerlo en conocimiento del jefe de mantenimiento o responsable, pero la responsabilidad de determinar la urgencia de la reparación deberá ser de este último.



Reparación:

Reparar los defectos conocidos es la función más importante del mantenimiento preventivo. No obstante, garantizar la producción en el momento adecuado o con el costo preciso también pueden ser metas importantes para un equipo de mantenimiento.

La información proporcionada por el informe de infrarrojos se puede utilizar para mejorar la eficacia de las reparaciones, así como para alcanzar los demás objetivos con un riesgo calculado.

Supervisar la temperatura de un defecto conocido que no es posible reparar de inmediato (por ejemplo, porque no hay repuestos disponibles), a menudo compensa con creces el costo de una inspección e, incluso, el de la cámara de infrarrojos. Decidir no reparar los defectos conocidos para ahorrar en costos de mantenimiento y evitar tiempos de inactividad innecesarios puede ser otro modo de utilizar la información del informe de infrarrojos de forma productiva.

No obstante, el resultado más común de la identificación y clasificación de los fallos detectados es una recomendación de realizar las reparaciones de inmediato o tan pronto como sea posible de forma práctica. Es importante que el equipo de reparaciones sea consciente de los principios físicos para la identificación de los defectos.

Si un defecto muestra una temperatura elevada y está en una situación crítica, es muy común que el personal de reparación espere encontrar un componente muy corroído. No obstante, el equipo de reparaciones debe saber también que una conexión normalmente en buen estado pero suelta puede presentar las mismas temperaturas elevadas que una corroída. Estas interpretaciones incorrectas son muy comunes y ponen en peligro la fiabilidad del informe de infrarrojos.

Control:

El control de un componente reparado debe llevarse a cabo tan pronto como sea posible tras la reparación. No es eficiente esperar al siguiente informe de infrarrojos programado para combinar una nueva inspección con el control de los defectos reparados.

Las estadísticas sobre el efecto de las reparaciones demuestran que un tercio de los defectos reparados siguen presentando recalentamiento. Esto es lo mismo que decir que dichos defectos presentan un riesgo potencial de fallo.

Esperar al siguiente informe de infrarrojos programado representa un riesgo innecesario para los equipos o instalaciones.

Además de aumentar la eficacia del ciclo de mantenimiento (medida en términos de menor riesgo para la planta), el control inmediato de los trabajos de reparación proporciona otras ventajas al rendimiento del propio personal de reparación.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

*Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara*



Cuando un defecto sigue mostrando recalentamiento después de la reparación, la determinación de la causa de dicho recalentamiento mejora el procedimiento de reparación, facilita la elección de los mejores proveedores de componentes y permite detectar defectos de diseño en la instalación. El personal podrá observar rápidamente el efecto de su trabajo y aprenderá rápidamente de las reparaciones correctas y de los errores que cometan.

Otro motivo para proporcionar al personal de reparación instrumental de infrarrojos es que muchos de los defectos detectados durante el informe de infrarrojos son de escasa gravedad. En lugar de repararlos, con el consiguiente consumo de tiempo de mantenimiento y producción, se puede tomar la decisión de mantener estos defectos bajo control. Por lo tanto, el personal de mantenimiento debe tener acceso a su propio equipo de infrarrojos.

Es muy frecuente anotar en el formulario de informe el tipo de error observado durante la reparación, así como la acción llevada a cabo. Estas observaciones constituyen una importante fuente de experiencia que puede emplearse para reducir las existencias de repuestos, seleccionar los mejores proveedores o formar a nuevo personal de mantenimiento.



Informes:

Actualmente, las inspecciones termográficas de instalaciones eléctricas, probablemente sin excepción, se documentan y registran en informes con la ayuda de programas informáticos. Estos programas, que son diferentes dependiendo del fabricante, suelen estar adaptados directamente a cada cámara, por lo que realizar informes se convierte en un proceso muy rápido y sencillo.

El programa empleado para crear la página de informe que observará a continuación se llama FLIR Reporter. Está adaptado a varios tipos de cámaras de infrarrojos de FLIR Systems. Un informe profesional suele dividirse en dos secciones:

1) La portada, con datos sobre la inspección, como los siguientes:

- Datos sobre el cliente, por ejemplo, el nombre de la empresa y la persona de contacto.
- Ubicación de la inspección: dirección de las instalaciones, ciudad, etc.
- Fecha de la inspección.
- Fecha del informe.
- Nombre del termógrafo.
- Firma del termógrafo.
- Resumen o índice de contenido.

2) Páginas de la inspección con imágenes de infrarrojos para documentar y analizar propiedades o anomalías térmicas:

- Identificación del objeto inspeccionado:
 - Características del objeto: designación, nombre, número, etc.
 - Foto
- Imagen de infrarrojos. Al recopilar imágenes de infrarrojos hay que tener en cuenta algunos aspectos:
 - Enfoque óptico
 - Ajuste térmico de la escena o el problema (nivel y campo)
 - Composición: distancia de observación y ángulo de visualización adecuados.
- Comentario:
 - ¿Hay alguna anomalía o no?
 - ¿Hay reflejos o no?
 - Utilice una herramienta de medición (punto, área o isoterma) para cuantificar el problema. Utilice la herramienta más sencilla posible (un gráfico de perfil casi nunca resulta necesario en los informes eléctricos).


Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

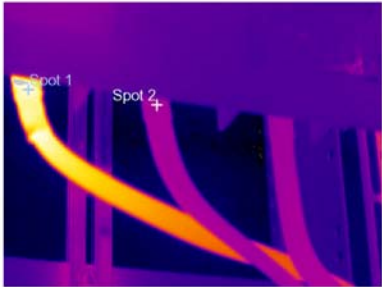
Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Ejemplo:

FLIR SYSTEMS™		THERMOGRAPHY INSPECTION for FLIR Systems AB		Date: 2005-10-10 Sign. _____ Contract. : 1708	
---------------	--	---	--	---	--

Photograph															
	<table border="1"><tr><td>Place</td><td>Building 1</td></tr><tr><td>Localization</td><td>Right panel, group 2</td></tr><tr><td>Equipment</td><td>Fuse</td></tr><tr><td>Model / type</td><td>BBC LHBN 250</td></tr><tr><td>Phase / ID</td><td>Supply for Panel 8</td></tr><tr><td>Room temperature °C</td><td>15</td></tr><tr><td>Status</td><td>Over heated</td></tr></table>	Place	Building 1	Localization	Right panel, group 2	Equipment	Fuse	Model / type	BBC LHBN 250	Phase / ID	Supply for Panel 8	Room temperature °C	15	Status	Over heated
Place	Building 1														
Localization	Right panel, group 2														
Equipment	Fuse														
Model / type	BBC LHBN 250														
Phase / ID	Supply for Panel 8														
Room temperature °C	15														
Status	Over heated														

Thermogram																							
	<table border="1"><tr><td>Temp. Spot 1</td><td>34 °C</td></tr><tr><td>Temp. Spot 2</td><td>17 °C</td></tr><tr><td>TEMPERATURE DIFF</td><td>17 °C</td></tr><tr><td>Phase</td><td>L1</td><td>L2</td><td>L3</td></tr><tr><td>Load (A)</td><td>45</td><td>47</td><td>47</td></tr><tr><td>Rated load</td><td colspan="3">250</td></tr><tr><td>Fault class</td><td colspan="3">2</td></tr></table>	Temp. Spot 1	34 °C	Temp. Spot 2	17 °C	TEMPERATURE DIFF	17 °C	Phase	L1	L2	L3	Load (A)	45	47	47	Rated load	250			Fault class	2		
Temp. Spot 1	34 °C																						
Temp. Spot 2	17 °C																						
TEMPERATURE DIFF	17 °C																						
Phase	L1	L2	L3																				
Load (A)	45	47	47																				
Rated load	250																						
Fault class	2																						

Comment
<p>Disconnect cable, clean contact surfaces. Check for connectivity between cable shoe and lead. Replace any defective component. Assemble according to directions with correct torque.</p> <p>Note that load is only 18%. Calculated temperature rise at 50% load would be approximately 104°C. [$T_{50} = (T_1 - T_2) * (125/45)^{1.6} + T_2$]</p>

Corrected	
Measure taken: _____	Date: _____
Sign: _____	Sign.: _____

Figura 89. Ejemplo de informe.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



6.3. Aplicaciones realizadas.

Proyecto: *Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.*

Autor: *Francisco Javier Villaescusa Egea.*
Director: *Federico López-Cerón de Lara*



6.3.1. Informe termográfico MIMOSA.

INFORME TERMOGRÁFICO BUQUE DE SALVAMENTO MARÍTIMO MIMOSA



Ingeniería Técnica Naval, Esp. Estructuras Marinas

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



INDICE

Introducción	Pág. 4
Captación nº1: Cuadro eléctrico AC 220V C.M	Pág. 5
Captación nº2: Cuadro eléctrico DC 24 V Puente	Pág. 6
Captación nº3: Propulsor Jet 1	Pág. 7
Captación nº4: Propulsor Jet 2	Pág. 8
Captación nº5: Motor diesel 1	Pág. 9
Captación nº6: Motor diesel 2	Pág. 10
Captación nº7: Turbo 1	Pág. 11
Captación nº8: Turbo 2	Pág. 12
Captación nº9: Intercambiador 1	Pág. 13
Captación nº10: Intercambiador 2	Pág. 14
Captación nº11: Tomas de mar refrigeración 1 y 2	Pág. 15
Captación nº12: Depósito aceite hidráulico	Pág. 16
Informe de síntesis	Pág. 17

Objeto del Informe:

La finalidad de éste informe es identificar los puntos críticos de las diversas instalaciones y equipos que existen a bordo de un buque.

El presente documento contempla las capturas termográficas realizadas el día 26 de marzo de 2013 en el barco de Salvamento Marítimo “MIMOSA” atracado en el muelle de Santa Lucía, (Cartagena).

La embarcación se clasifica como embarcación de intervención rápida “Salvamares”, propiedad de la Sociedad de Salvamento y Seguridad Marítima. Construidas en aluminio le permiten alcanzar velocidades superiores a 30 nudos.

Características:

- Eslora: ----- 21 mts.
- Manga: ----- 5 mts.
- Calado: ----- 1,20 mts
- Tripulación: -----3 personas.
- Potencia: ----- 2 x 1400 hp V12, CATERPILLAR.
- En servicio: ---- desde 29 de Abril 2008.
- Base: ----- Cartagena.
- Horas de servicio: 1.775 horas

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Los elementos que se han revisado mediante termografías para comprobar su estado son los siguientes:

SISTEMA ELÉCTRICO:

- Cuadro Eléctrico AC 220V en Cámara de Máquinas.
- Cuadro Eléctrico DC 24V en Puente de gobierno.

SISTEMA PROPULSIVO:

- Propulsor Jet 1. Er.
- Propulsor Jet 2. Br.

MOTOR PRINCIPAL:

- Motor diesel 1. Er.
- Motor diesel 2. Br.
- Turbo 1.
- Turbo 2.
- Intercambiador 1.
- Intercambiador 2.

SERVICIOS AUXILIARES:

- Tomas de mar para refrigeración de motores principales 1 y 2.
- Depósito de aceite hidráulico para gobierno y actuadores.

La captura de imágenes termográficas se realizaron el día 26 de marzo cubriendo la ruta de navegación costera entre las aguas de Cartagena y Mazarrón, a una velocidad de 22 nudos durante una hora. Al llegar a puerto después de la travesía, se realizaron las capturas termográficas, ya que durante su marcha, no es segura la realización de las mismas por el estado de la mar.



INTRODUCCIÓN

Captación de imágenes termográficas con la cámara FLIR T400.

En el presente informe se presentan las imágenes termográficas y digital conjuntamente con la relevancia y la urgencia de cada una de las actuaciones. El sistema de valoración que se ha usado es el comparativo (inspección cualitativa) entre un punto en condiciones normales y un punto crítico o caliente, por eso se ha considerado la siguiente nomenclatura:

T_{PC} = Temperatura de Punto Crítico o Caliente ($^{\circ}\text{C}$)

T_{CN} = Temperatura equivalente en Condiciones Normales de trabajo ($^{\circ}\text{C}$)

También se tiene en cuenta el rendimiento nominal en el momento del análisis y la temperatura máxima de trabajo para llegar a las conclusiones siguientes, aunque no definitivas:

$T_{PC} - T_{CN} \leq 10^{\circ}\text{C}$	→	Relevancia Normal	■
$10^{\circ}\text{C} < T_{PC} - T_{CN} \leq 20^{\circ}\text{C}$	→	Relevancia Leve	■
$20^{\circ}\text{C} < T_{PC} - T_{CN} \leq 40^{\circ}\text{C}$	→	Relevancia Grave	■
$40^{\circ}\text{C} < T_{PC} - T_{CN} \leq 70^{\circ}\text{C}$	→	Relevancia Crítica	■
$T_{PC} - T_{CN} > 70^{\circ}\text{C}$	→	Relevancia Muy Crítica	■

Cada material tiene una emisividad diferente, así pues, siempre es necesario comparar temperaturas de elementos formados por el mismo material. Aunque la cámara tiene una corrección automática respecto a factores que puedan afectar, como son la temperatura Ambiente, la humedad relativa y la distancia, existe un margen de error que se puede cuantificar entorno a $\pm 2\%$.

Después de valorar todos los aspectos nombrados se llega a una conclusión de la actuación que se tiene que llevar a cabo y que se enumera de menor a mayor urgencia

- **Próximo predictivo:** No es necesaria ninguna actuación hasta el próximo estudio predictivo.
- **Realizar seguimiento:** Realizar un seguimiento para ver la evolución del punto caliente o crítico usando la metodología y el personal más adecuado.
- **Lo antes posible:** Actuar lo antes posible teniendo en cuenta la dinámica de cada empresa y sus turnos de trabajo, se aprovechará el paro más inmediato para corregir el problema.
- **Urgente:** Estudiar la posibilidad de parar el proceso para corregir el problema.
- **Muy urgente:** Interrumpir el proceso inmediatamente para corregir el problema.

En estos dos últimos casos se avisará previamente a la redacción del informe para que se pueda remediar antes de que sea demasiado tarde.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas		°C
Ar1	Max	32,8
	Min	20,9
	Average	25,5
Sp1		23,5

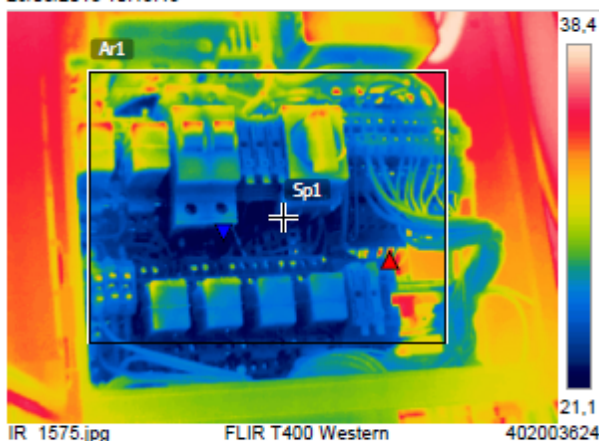
Parámetros	
Emisividad	0.96
Temp. refl.	30 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	20 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	70 %

CLIENTE: Salvamento Marítimo "MIMOSA".
FECHA: 26 de marzo de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Cuadro eléctrico 220V.

Anotaciones de texto

Designación:	Cuadro eléctrico 220 V Ac.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Componente:	Diversos.
Estado:	5 años (1.775 horas de servicio).
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/03/2013 10:18:45



26/03/2013 10:18:45



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Todos los elementos termografiados están en condiciones. El cuadro eléctrico se encuentra en buenas condiciones, se usa para alimentar al foco Halógeno por la noche, a su vez éste es alimentado por un pequeño grupo electrógeno. Temperatura general correcta.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de un año.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Máquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas		°C
Ar1	Max	34,9
	Min	20,8
	Average	23,1
Sp1		30,2
Sp2		30,5
Sp3		30,9
Sp4		29,7
Sp5		32,2

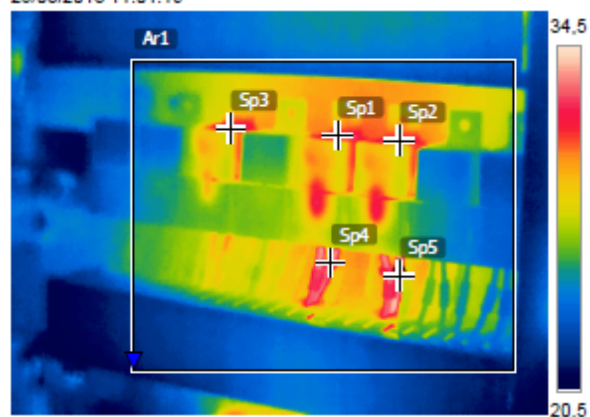
Parámetros	
Emisividad	0.96
Temp. refl.	30 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	20 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	70 %

CLIENTE: Salvamento Marítimo "MIMOSA".
FECHA: 26 de marzo de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Cuadro eléctrico 24 V.

Anotaciones de texto

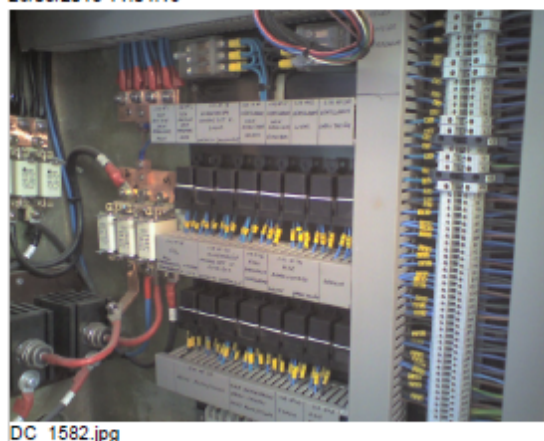
Designación:	Cuadro eléctrico 24 V Dc.
Ubicación:	Puente de Gobierno.
Componente:	Diversos.
Estado:	5 años (1.775 horas de servicio).
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/03/2013 11:04:19



IR_1581.jpg FLIR T400 Western 402003624

26/03/2013 11:04:19



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Todos los elementos termografiados están en condiciones. El cuadro eléctrico se encuentra en buenas condiciones, se usa para alimentar a los equipos electrónicos de todo el barco de corriente continua. Simplemente se muestra un incremento de temperatura de aquellos componentes por donde pasa la corriente. Temperatura general correcta.

CONCLUSIONES:

Relevancia **NORMAL**, urgencia de actuación, **PRÓXIMO PREDICTIVO**.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de un año.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas		°C
Sp1	58,2	
Sp2	60,1	
Sp3	39,9	
Sp4	29,8	

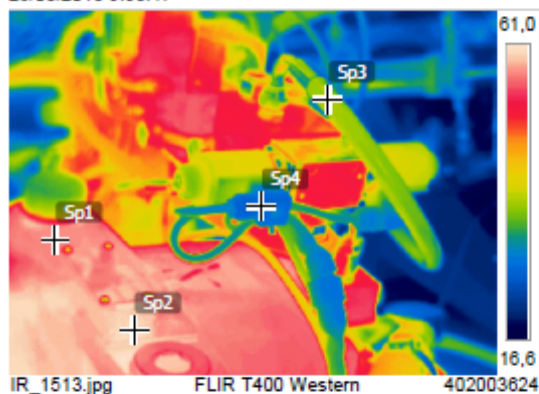
Parámetros	
Emisividad	0.85
Temp. refl.	30 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	20 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	70 %

CLIENTE: Salvamento Marítimo "MMOSA".
FECHA: 26 de marzo de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Propulsor JET 1 Er.

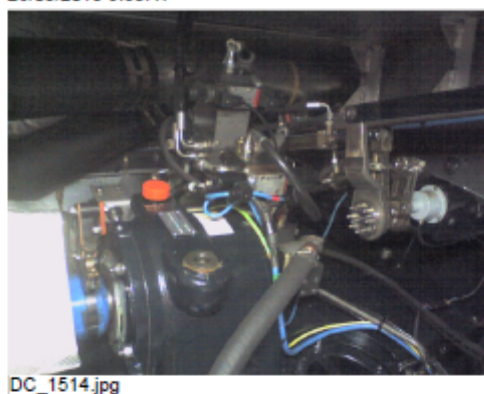
Anotaciones de texto

Designación:	Propulsor JET 1 Er.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Propulsor a chorro.
Componente:	Equipo mecánico.
Estado:	5 años (1.775 horas de servicio).
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/03/2013 9:58:47



26/03/2013 9:58:47



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Todos los elementos termografiados están en condiciones. El grupo alcanza una temperatura dentro de la normalidad, ya que la máxima registrada en la termografía es de unos 61°C y la temperatura máxima de servicio que indica la placa de características es de 80°C. Temperatura general correcta

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de un año.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Ar1	Max	62,0	
	Min	20,1	
	Average	48,6	

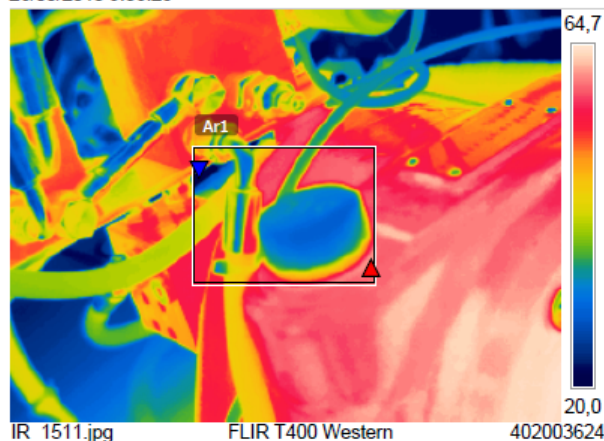
Parámetros	
Emisividad	0.85
Temp. refl.	30 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	20 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	70 %

CLIENTE: Salvamento Marítimo "MIMOSA".
FECHA: 26 de marzo de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Propulsor JET 2 Br.

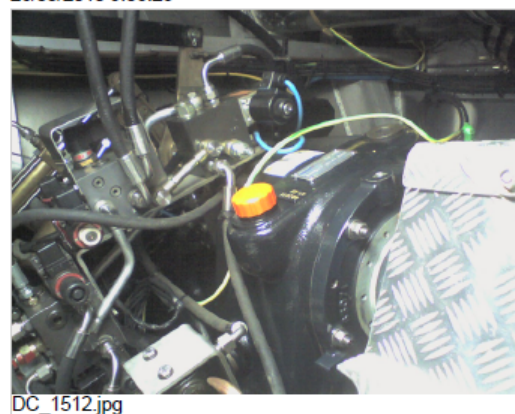
Anotaciones de texto

Designación:	Propulsor JET 2 Br.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Propulsor a chorro.
Componente:	Equipo mecánico.
Estado:	5 años (1.775 horas de servicio).
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/03/2013 9:58:28



26/03/2013 9:58:28



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Todos los elementos termografiados están en condiciones. El grupo alcanza una temperatura dentro de la normalidad, ya que la máxima registrada en la termografía es de unos 62°C y la temperatura máxima de servicio que indica la placa de características es de 80°C. Temperatura general correcta

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de un año.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Ar1	Max	82,4	
	Min	26,5	
	Average	36,8	
Sp1		30,0	

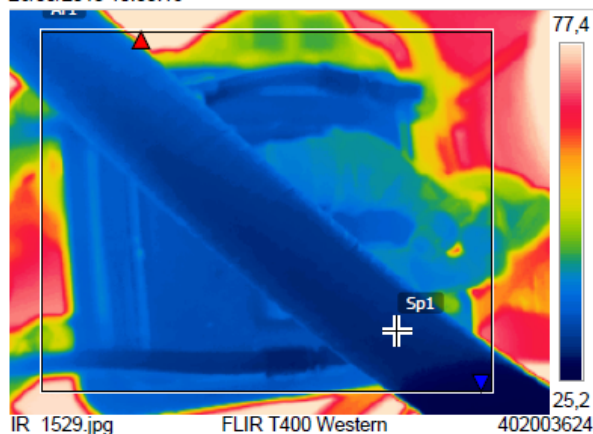
Parámetros	
Emisividad	0.85
Temp. refl.	30 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	20 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	70 %

CLIENTE: Salvamento Marítimo "MIMOSA".
FECHA: 26 de marzo de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Motor Principal 1 Er.

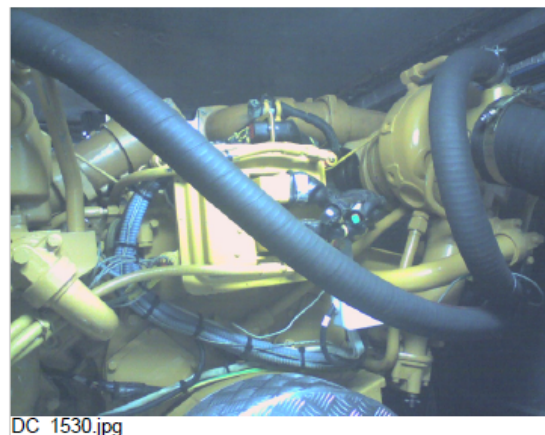
Anotaciones de texto

Designación:	Motor 1 Er .
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Componente:	Diversos.
Estado:	5 años (1.775 horas de servicio).
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/03/2013 10:05:18



26/03/2013 10:05:18



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Todos los elementos termografiados están en condiciones. El motor alcanza una temperatura dentro de la normalidad, ya que la máxima registrada en la termografía es de unos 82°C y la temperatura de servicio que indica la placa de características es de 90°C. Temperatura general correcta

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de un año.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas		°C
Ar1	Max	83,2
	Min	32,4
	Average	57,7
Sp1		41,1

Parámetros

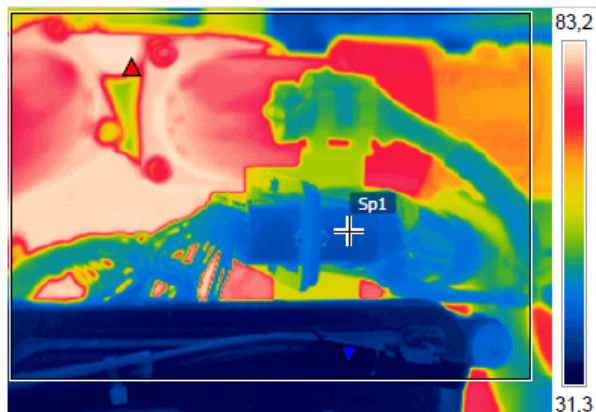
Emisividad	0.85
Temp. refl.	30 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	20 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	70 %

CLIENTE: Salvamento Marítimo "MIMOSA".
FECHA: 26 de marzo de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Motor Principal 2 Br.

Anotaciones de texto

Designación:	Motor 2 Br .
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Componente:	Diversos.
Estado:	5 años (1.775 horas de servicio).
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/03/2013 10:07:13



IR_1537.jpg

FLIR T400 Western

402003624

26/03/2013 10:07:13



DC_1538.jpg

OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Todos los elementos termografiados están en condiciones. El motor alcanza una temperatura dentro de la normalidad, ya que la máxima registrada en la termografía es de unos 83°C y la temperatura de servicio que indica la placa de características es de 90°C. Temperatura general correcta.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de un año.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas		°C
Ar1	Max	82,1
	Min	29,0
	Average	53,9
Sp1		80,8
Sp2		33,0
Sp3		37,5

Parámetros

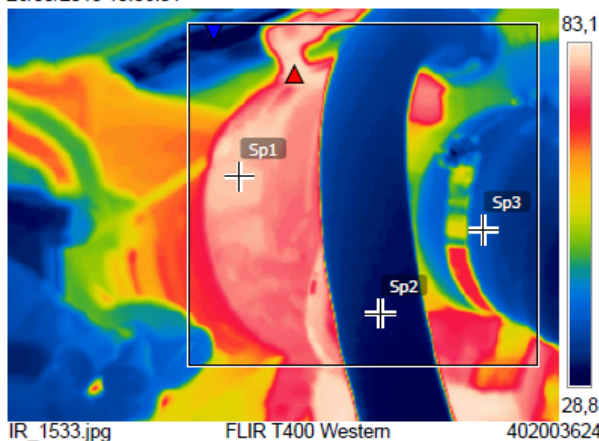
Emisividad	0.85
Temp. refl.	30 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	20 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	70 %

CLIENTE: Salvamento Marítimo "MIMOSA".
FECHA: 26 de marzo de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Turbo Motor Principal 1 Er.

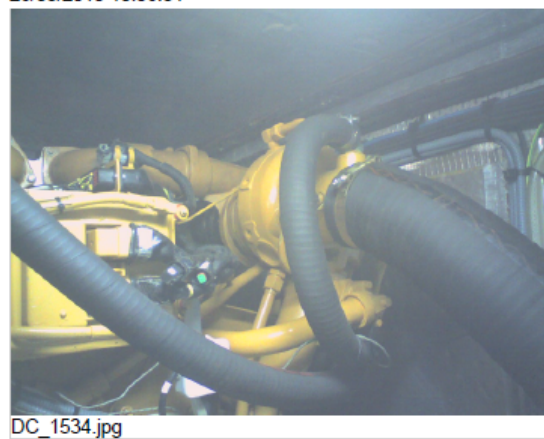
Anotaciones de texto

Designación:	Turbo Motor 1 Er.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Componente:	Diversos.
Estado:	5 años (1.775 horas de servicio).
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/03/2013 10:06:31



26/03/2013 10:06:31



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Todos los elementos termografiados están en condiciones. El Turbo alcanza una temperatura dentro de la normalidad, ya que la registrada en la termografía es de unos 80°C y la temperatura de servicio que indica la placa de características es de 90°C. Aclarar que las temperaturas de los puntos Sp1 se deben a los gases de exahustación, Sp2 agua de refrigeración de salida de intercambiadores a turbo para enfriar los gases, sistema de escape húmedo, Sp3 conducto de salida al exterior de gases de exahustación. Temperatura general correcta.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de un año.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas		°C
El1	Max	81,6
	Min	37,4
	Average	58,9
Sp1		39,2

Parámetros

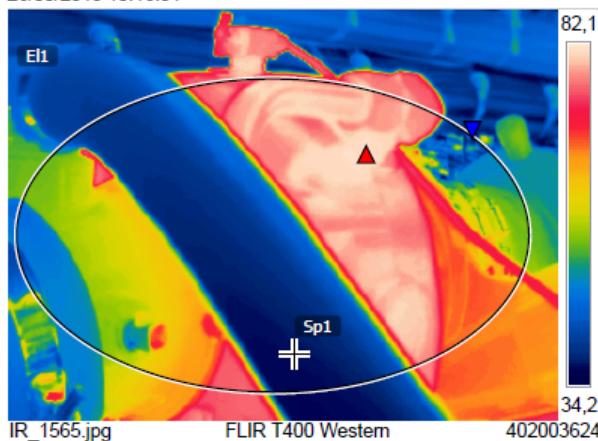
Emisividad	0.85
Temp. refl.	30 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	20 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	70 %

CLIENTE: Salvamento Marítimo "MIMOSA".
FECHA: 26 de marzo de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Turbo Motor Principal 2 Br.

Anotaciones de texto

Designación:	Turbo Motor 2 Br .
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Componente:	Diversos.
Estado:	5 años (1.775 horas de servicio).
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/03/2013 10:16:31



26/03/2013 10:16:31



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Todos los elementos termografiados están en condiciones. El Turbo alcanza una temperatura dentro de la normalidad, ya que la registrada en la termografía es de unos 81,6°C y la temperatura de servicio que indica la placa de características es de 90°C. Aclarar que la temperatura del punto Sp1 agua de refrigeración de salida de intercambiadores a turbo para enfriar los gases, sistema de escape húmedo, al igual que en el turbo 1. Temperatura general correcta.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de un año.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Máquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas		°C
Ar1	Max	78,3
	Min	34,3
	Average	62,1
Sp1		35,6
Sp2		73,5

Parámetros

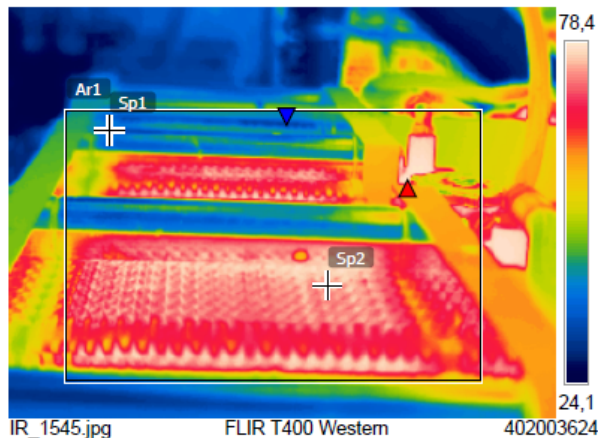
Emisividad	0.85
Temp. refl.	30 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	20 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	70 %

CLIENTE: Salvamento Marítimo "MIMOSA".
FECHA: 26 de marzo de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Intercambiador Motor Principal 1 Er.

Anotaciones de texto

Designación:	Intercambiador Motor 1 Er .
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Componente:	Aluminio e Inoxidable.
Estado:	5 años (1.775 horas de servicio).
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/03/2013 10:10:28



26/03/2013 10:10:28



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Todos los elementos termografiados están en condiciones. El Intercambiador alcanza una temperatura dentro de la normalidad, ya que la registrada en la termografía es de unos 73,5°C . En ésta parte se produce un intercambio de temperaturas entre el circuito primario de agua de mar y el circuito secundario de refrigerante del motor. Temperatura general correcta.

CONCLUSIONES:

Relevancia **NORMAL**, urgencia de actuación, **PRÓXIMO PREDICTIVO**.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de un año.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas		°C
Ar1	Max	77,5
	Min	30,7
	Average	59,0
Sp1		36,3
Sp2		74,2

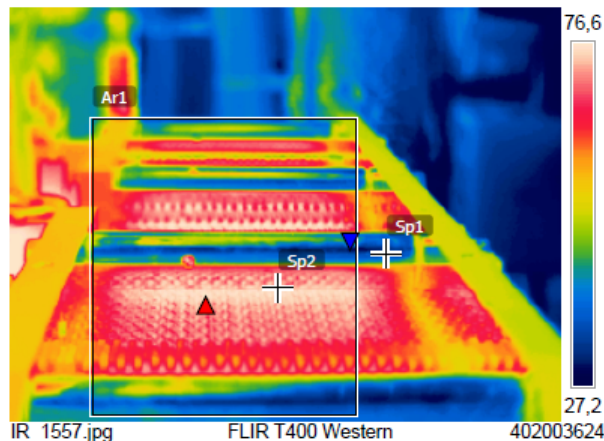
Parámetros	
Emisividad	0.85
Temp. refl.	30 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	20 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	70 %

CLIENTE: Salvamento Marítimo "MIMOSA".
FECHA: 26 de marzo de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Intercambiador Motor Principal 2 Br.

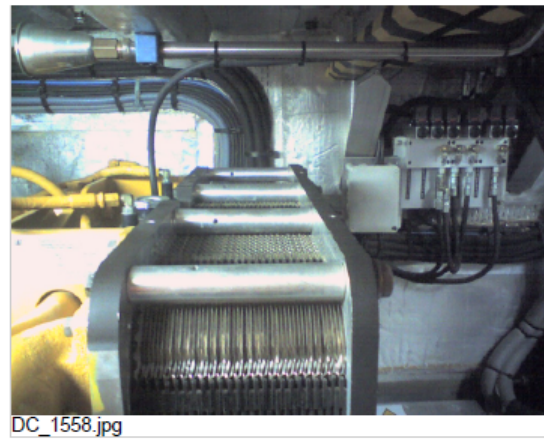
Anotaciones de texto

Designación:	Intercambiador Motor 2 Br .
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Componente:	Aluminio e Inoxidable.
Estado:	5 años (1.775 horas de servicio).
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/03/2013 10:14:51



26/03/2013 10:14:51



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Todos los elementos termografiados están en condiciones. El Intercambiador alcanza una temperatura dentro de la normalidad, ya que la registrada en la termografía es de unos 74,2°C . En ésta parte se produce un intercambio de temperaturas entre el circuito primario de agua de mar y el circuito secundario de refrigerante del motor. Temperatura general correcta.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de un año.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas °C		
Ar1	Max	34,8
	Min	12,7
	Average	22,1
Sp1		24,5

Parámetros

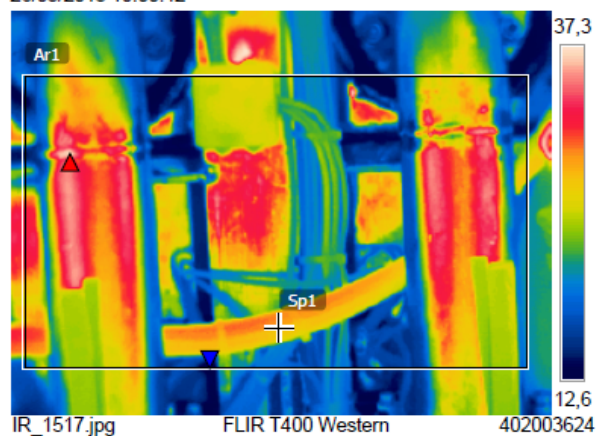
Emisividad	0.85
Temp. refl.	30 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	20 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	70 %

CLIENTE: Salvamento Marítimo "MIMOSA".
FECHA: 26 de marzo de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Tomas de mar refrigeración.

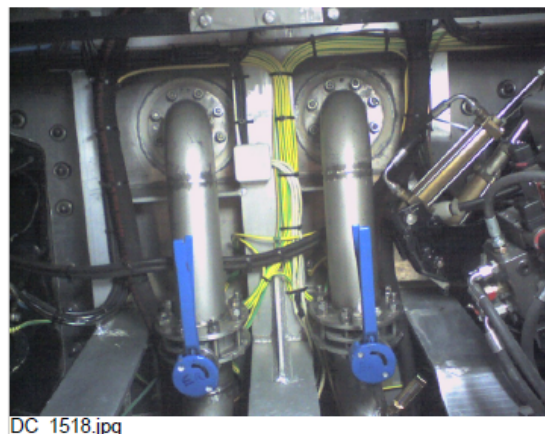
Anotaciones de texto

Designación:	Tomas de mar .
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Componente:	Tubería Inoxidable.
Estado:	5 años (1.775 horas de servicio).
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/03/2013 10:00:42



26/03/2013 10:00:42



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Todos los elementos termografiados están en condiciones. La temperatura registrada de 34,8 °C, se debe a la radiación reflejada por el resto de equipos, ya que la temperatura del agua de mar empleada para la refrigeración del circuito primario se encuentra entre 12 y 15 °C. Temperatura general correcta.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de un año.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas		°C
Ar1	Max	67,7
	Min	27,9
	Average	41,1
Sp1		35,2

Parámetros

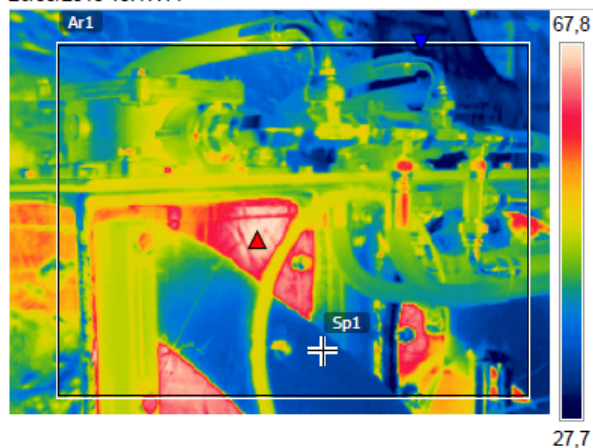
Emisividad	0.96
Temp. refl.	30 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	20 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	70 %

CLIENTE: Salvamento Marítimo "MIMOSA".
FECHA: 26 de marzo de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Depósito Aceite Hidráulico.

Anotaciones de texto

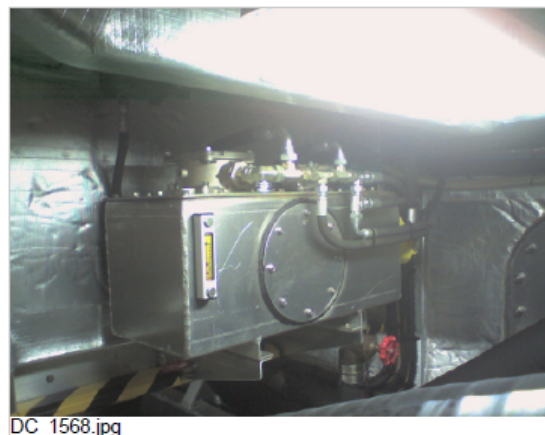
Designación:	Depósito de aceite Hidráulico.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Componente:	Inoxidable.
Estado:	5 años (1.775 horas de servicio).
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/03/2013 10:17:14



IR_1567.jpg FLIR T400 Western 402003624

26/03/2013 10:17:14



DC_1568.jpg

OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Todos los elementos termografiados están en condiciones. El depósito alcanza una temperatura registrada de 35,2 °C, se debe a la radiación reflejada por el motor caliente. Temperatura general correcta.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de un año.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



IMFORME DE SÍNTESIS

CAPTACION	RELEVANCIA	ACTUACIÓN
CAPTACION Nº1: Cuadro eléctrico AC 220V C.M	NORMAL	PRÓXIMO PREDICTIVO
CAPTACION Nº2: Cuadro eléctrico DC 24 V Puente	NORMAL	PRÓXIMO PREDICTIVO
CAPTACION Nº3: Propulsor Jet 1	NORMAL	PRÓXIMO PREDICTIVO
CAPTACION Nº 4: Propulsor Jet 2	NORMAL	PRÓXIMO PREDICTIVO
CAPTACION Nº 5: Motor diesel 1	NORMAL	PRÓXIMO PREDICTIVO
CAPTACION Nº6: Motor diesel 2	NORMAL	PRÓXIMO PREDICTIVO
CAPTACION Nº7: Turbo 1	NORMAL	PRÓXIMO PREDICTIVO
CAPTACION Nº8: Turbo 2	NORMAL	PRÓXIMO PREDICTIVO
CAPTACION Nº9: Intercambiador 1	NORMAL	PRÓXIMO PREDICTIVO
CAPTACION Nº10: Intercambiador 2	NORMAL	PRÓXIMO PREDICTIVO
CAPTACION Nº11: Tomas de mar refrigeración 1 y 2	NORMAL	PRÓXIMO PREDICTIVO
CAPTACION Nº12: Depósito aceite hidráulico	NORMAL	PRÓXIMO PREDICTIVO

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



6.3.2. Informe termográfico V.B. CARTAGENA.

INFORME TERMOGRÁFICO BUQUE REMOLCADOR “V.B. CARTAGENA”



Ingeniería Técnica Naval, Esp. Estructuras Marinas

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



INDICE

Introducción	Pág. 6
Captación nº1: Generador Auxiliar Nº 2 Er.	Pág. 7
Captación nº2: Cuadro eléctrico Principal AC 400V.	Pág. 8
Captación nº3: Cuadro eléctrico (BAS MP 1 Y 2), Nº 1.	Pág. 9
Captación nº4: Cuadro eléctrico (BAS MP 1 Y 2), Nº 1. En marcha.	Pág. 10
Captación nº5: Cuadro eléctrico (BAS MP 1 Y 2), Nº 1. En Maniobra.	Pág. 11
Captación nº6: Cuadro Eléctrico Ventilación en CM.	Pág. 12
Captación nº7: Cuadro Eléctrico DC 24V en CM.	Pág. 13
Captación nº8: Propulsor Cicloidal Voith Schneider 1 Br. En Maniobra.	Pág. 14
Captación nº9: Enfriador Lubricante Voith Schneider 1 Br. En Maniobra.	Pág. 15
Captación nº10: Eje transmisión de potencia al Voith 1 Br. En Maniobra.	Pág. 16
Captación nº11: Enfriador Lubricante Voith Schneider 1 Br. En marcha.	Pág. 17
Captación nº12: Eje transmisión de potencia al Voith 1 Br. En marcha.	Pág. 18
Captación nº13: Propulsor Cicloidal Voith Schneider 2 Er. En Maniobra.	Pág. 19
Captación nº14: Enfriador Lubricante Voith Schneider 2 Er. En Maniobra.	Pág. 20
Captación nº15: Eje transmisión de potencia al Voith 2 Er. En Maniobra.	Pág. 21
Captación nº16: Enfriador Lubricante Voith Schneider 2 Er. En marcha.	Pág. 22
Captación nº17: Eje transmisión de potencia al Voith 2 Er. En marcha.	Pág. 23
Captación nº18: Motor diesel 1 Br. En Maniobra.	Pág. 24
Captación nº19: Intercambiador 1 Br. En Maniobra.	Pág. 25
Captación nº20: Motor diesel 1 Br. En marcha.	Pág. 26
Captación nº21: Intercambiador 1 Br. En marcha.	Pág. 27
Captación nº22: Motor diesel 2 Er. En Maniobra.	Pág. 28
Captación nº23: Intercambiador 2 Er. En Maniobra.	Pág. 29
Captación nº24: Motor diesel 2 Er. En marcha.	Pág. 30
Captación nº25: Intercambiador 2 Er. En marcha.	Pág. 31
Captación nº26: Motor Eléctrico BAS MP 1 y 2, Nº 1. En Maniobra.	Pág. 32
Captación nº27: Motor Eléctrico BAS MP 1 y 2, Nº 1. En marcha.	Pág. 33
Captación nº28: Motor Eléctrico BAS MP 1 y 2, Nº 2. En marcha.	Pág. 34

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Captación nº29: Compresor Aire de Arranque (Inferior).	Pág. 35
Captación nº30: Motor Eléctrico del compresor aire (Inferior).	Pág. 36
Captación nº31: Compresor Aire de Arranque (Superior).	Pág. 37
Captación nº32: Motor Eléctrico del compresor aire (Superior).	Pág. 38
Captación nº33: Acoplamiento del Gen. Aux. 2 al Alternador Er.	Pág. 39
Captación nº34: Aislamiento conducto exahustación Gen. Aux. 2.	Pág. 40
Captación nº35: Aislamiento caracola del turbo del Gen. Aux. 2.	Pág. 41
Captación nº36: Aislamiento colector de exahustación Motor Ppal.1. Br.	Pág. 42
Informe de Síntesis.	Pág. 43
Tabla de temperaturas máximas registradas en los equipos, en °C.	Pág. 44
Análisis del registro de temperaturas.	Pág. 45
Objetivos.	Pág. 46

Objeto del Informe:

La finalidad de éste informe es identificar los puntos críticos de las diversas instalaciones y equipos que existen a bordo del buque.

El presente documento contempla las capturas termográficas realizadas el día 26 de junio de 2013 en el buque remolcador “V.B. CARTAGENA” atracado en la Dársena de Escombreras, Terminal inflamables, muelle Maese frente 15, (Cartagena), y también se incluyen capturas realizadas después de atender a una maniobra de remolque de un buque de carga refrigerada en condición de lastre, el “ICE RIVER MAESTRO REEFERS” perteneciente a Majuro, en las islas Marshall, noroeste de Australia.

La embarcación se clasifica como buque de servicios de puerto (GRUPO III) y clase T, propiedad de BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA.

La zona de actuación comprende el interior y exterior de la Dársena para servicios de remolque de puerto, altura y de salvamento.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Características:

- IMO:----- 9111747
- Eslora: ----- 29,5 mts.
- Manga: ----- 11 mts.
- Calado: ----- 5 mts
- Tripulación: ---- 3 personas.
- Potencia: ----- Motores Principales: 2 x 2.081 hp a 1000 rpm, motor diesel Alemán MAK M20 9 cilindros.
- Propulsión: ----- 2 propulsores cicloidales Voith Schneider.
- Tipo de Cámara de máquinas: ----- Desatendida.
- Velocidad: ----- 11 nudos.
- Tiro punto fijo: --- 50 T.
- Arqueo: ----- 343 GT.
- Autonomía: ----- 8000 Millas aprox.
- Base: ----- Dársena de Escombreras, Cartagena.
- Horas de servicio: 20.000 horas aprox.
- En servicio: ---- 18 años, desde 1995, construido por Zamakona yards, Bilbao.

La inspección termográfica de los elementos más representativos que se ha realizado en el buque son los siguientes:

SISTEMA ELÉCTRICO:

- Generadores de energía eléctrica:
 - Generador Auxiliar N° 2. AC 400V, 210 KVA en Cámara de Máquinas (Er.).
- Cuadros / Paneles eléctricos de distribución:
 - Cuadro Eléctrico Principal AC 400V en Cámara de Máquinas.
 - Cuadro Eléctrico Alimentación a Bombas Refrigeración de agua salada a motores principales, AC 400V en CM (BAS MP1 Y 2), N° 1.
 - Cuadro Eléctrico Ventilación en C.M.
 - Cuadro Eléctrico DC 24V en Cámara de Máquinas.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



SISTEMA PROPULSIVO:

- Propulsor Cicloidal Voith Schneider 1 Br.
- Enfriador Lubricante Voith Schneider 1 Br.
- Eje transmisión de potencia al Voith 1 Br.
- Propulsor Cicloidal Voith Schneider 2 Er.
- Enfriador Lubricante Voith Schneider 2 Er.
- Eje transmisión de potencia al Voith 2 Er.

MOTOR PRINCIPAL:

- Motor diesel 1. Br.
- Intercambiador 1. Br.
- Motor diesel 2. Er.
- Intercambiador 2. Er.

SISTEMAS ELECTROMECAÑICOS:

- Motor Eléctrico BAS MP 1 y 2, N° 1.
- Motor Eléctrico BAS MP 1 y 2, N° 2.
- Compresor Aire de Arranque (Inferior).
- Motor Eléctrico del compresor aire de Arranque (Inferior).
- Compresor Aire de Arranque (Superior).
- Motor Eléctrico del compresor aire de Arranque (Superior).

OTROS ELEMENTOS:

- Acoplamiento del Generador Aux. 2 al Alternador Er.
- Aislamiento conducto exahustación Generador Aux. 2.
- Aislamiento caracola del turbo del Generador Aux. 2.
- Aislamiento colector de exahustación Motor Ppal. 1. Br.



INTRODUCCIÓN

Captación de imágenes termográficas con la cámara FLIR T400.

En el presente informe se presentan las imágenes termográficas y digital conjuntamente con la relevancia y la urgencia de cada una de las actuaciones. El sistema de valoración que se ha usado es el comparativo (inspección cualitativa) entre un punto en condiciones normales y un punto crítico o caliente, por eso se ha considerado la siguiente nomenclatura:

T_{PC} = Temperatura de Punto Crítico o Caliente ($^{\circ}\text{C}$)

T_{CN} = Temperatura equivalente en Condiciones Normales de trabajo ($^{\circ}\text{C}$)

También se tiene en cuenta el rendimiento nominal en el momento del análisis y la temperatura máxima de trabajo para llegar a las conclusiones siguientes, aunque no definitivas:

$T_{PC} - T_{CN} \leq 10^{\circ}\text{C}$	→	Relevancia Normal	■
$10^{\circ}\text{C} < T_{PC} - T_{CN} \leq 20^{\circ}\text{C}$	→	Relevancia Leve	■
$20^{\circ}\text{C} < T_{PC} - T_{CN} \leq 40^{\circ}\text{C}$	→	Relevancia Grave	■
$40^{\circ}\text{C} < T_{PC} - T_{CN} \leq 70^{\circ}\text{C}$	→	Relevancia Crítica	■
$T_{PC} - T_{CN} > 70^{\circ}\text{C}$	→	Relevancia Muy Crítica	■

Cada material tiene una emisividad diferente, así pues, siempre es necesario comparar temperaturas de elementos formados por el mismo material. Aunque la cámara tiene una corrección automática respecto a factores que puedan afectar, como son la temperatura Ambiente, la humedad relativa y la distancia, existe un margen de error que se puede cuantificar entorno a $\pm 2\%$.

Después de valorar todos los aspectos nombrados se llega a una conclusión de la actuación que se tiene que llevar a cabo y que se enumera de menor a mayor urgencia

- **Próximo predictivo:** No es necesaria ninguna actuación hasta el próximo estudio predictivo.
- **Realizar seguimiento:** Realizar un seguimiento para ver la evolución del punto caliente o crítico usando la metodología y el personal más adecuado.
- **Lo antes posible:** Actuar lo antes posible teniendo en cuenta la dinámica de cada empresa y sus turnos de trabajo, se aprovechará el paro más inmediato para corregir el problema.
- **Urgente:** Estudiar la posibilidad de parar el proceso para corregir el problema.
- **Muy urgente:** Interrumpir el proceso inmediatamente para corregir el problema.

En estos dos últimos casos se avisará previamente a la redacción del informe para que se pueda remediar antes de que sea demasiado tarde.



Medidas		°C
Sp1	60,3	
Sp2	67,9	
Sp3	75,1	

Parámetros

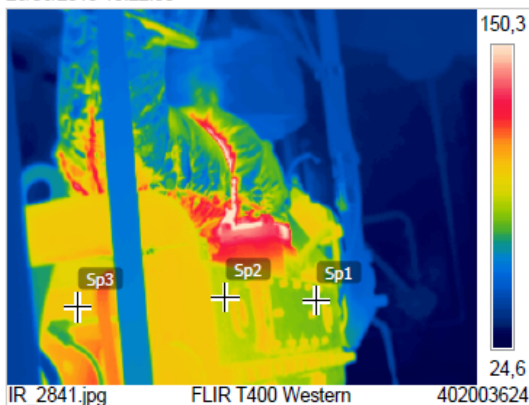
Emisividad	0.89
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 1

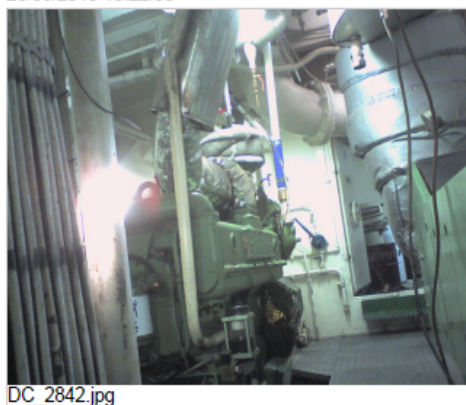
Anotaciones de texto

Designación:	Generador Auxiliar Nº 2. Er.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Grupo Electrónico.
Componente:	Equipo Mecánico.
Estado:	18 años, 20.000 horas
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 10:22:30



26/06/2013 10:22:30



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Todos los elementos termografiados están correctos. El grupo alcanza una temperatura dentro de la normalidad, ya que la máxima registrada en la termografía es de unos 150°C debido al sistema de exahustación. La temperatura de servicio es entre 80°C y 90°C. Temperatura general correcta.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas		°C
Sp1	35,8	
Sp2	35,2	
Sp3	34,8	

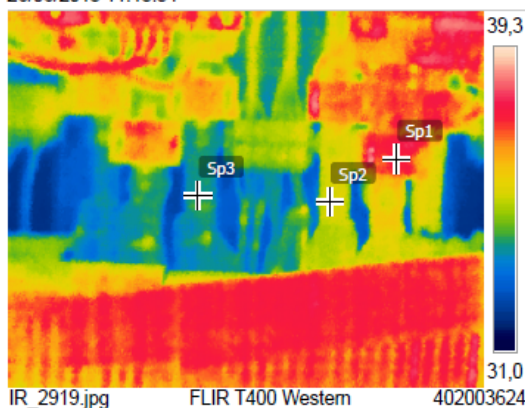
Parámetros	
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 2

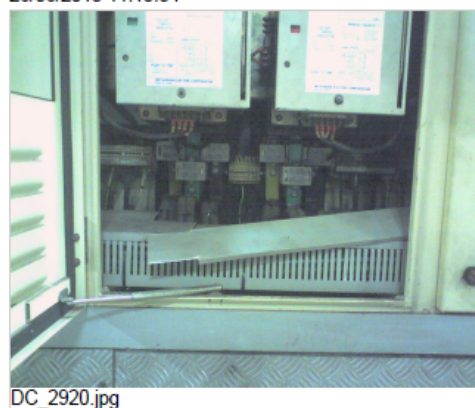
Anotaciones de texto

Designación:	Cuadro eléctrico principal AC 400V
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Cuadro eléctrico.
Componente:	Equipo eléctrico.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 11:13:54



26/06/2013 11:13:54



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Todos los elementos termografiados están en condiciones. Las conexiones alcanzan una temperatura dentro de la normalidad, ya que la máxima registrada en la termografía es de unos 39°C

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.



Medidas		°C
Sp1	33,6	
Sp2	33,5	
Sp3	33,0	

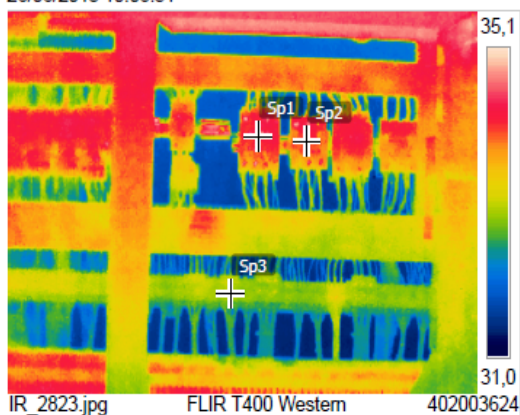
Parámetros	
Emisividad	0.96
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 3

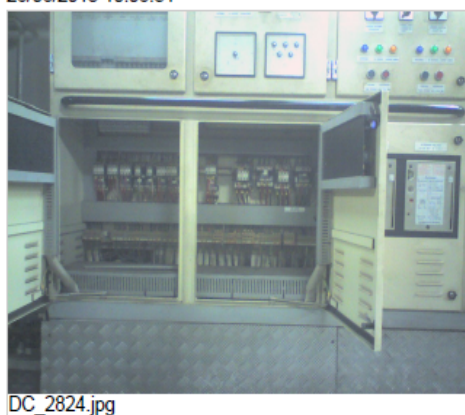
Anotaciones de texto

Designación:	Cuadro eléctrico BAS MP 1 y 2, Nº 1
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Cuadro eléctrico.
Componente:	Equipo eléctrico.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 10:08:51



26/06/2013 10:08:51



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Tal y como se observa en éste cuadro eléctrico, la temperatura máxima es de 35°C, temperatura normal sin energizar el sistema. En éste cuadro se accede al control de:

Bomba de reserva de aceite lubricante Motor principal 1;
Bomba de refrigeración de agua salada para los motores principales 1 y 2 incluyendo a los Voith Schneider;
Bomba de Servicios generales Nº 1, así como para baldeo en proa.

Aparentemente, en estas condiciones, no se puede obtener conclusiones.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas °C

Ar1	Max	73,5
	Min	33,8
	Average	43,4
Ar2	Max	44,2
	Min	34,5
	Average	37,8
Ar3	Max	53,6
	Min	34,1
	Average	39,1
Diferencia		29,3
Ar1.Max - Ar2.Max		

Parámetros

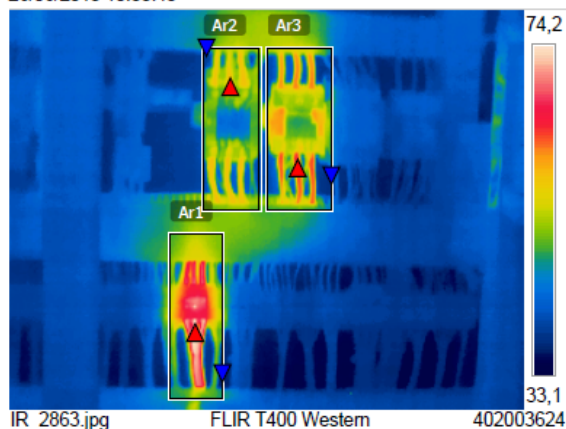
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: N° 4

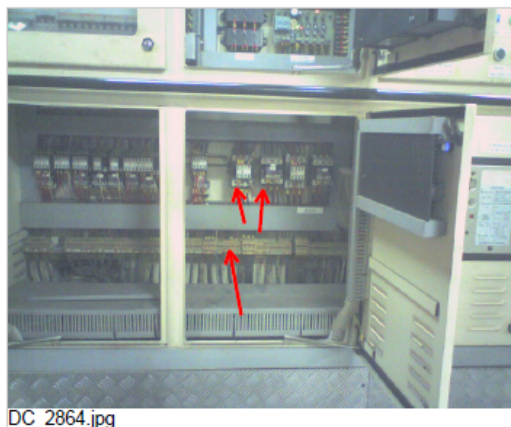
Anotaciones de texto

Designación:	Cuadro eléctrico BAS MP 1 y 2, N° 1.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Cuadro eléctrico.
Componente:	Equipo eléctrico.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Relevancia Grave

26/06/2013 10:33:45



26/06/2013 10:33:45



Ar 1: Regleta conexión N° 17.

Ar 2: Contactor C17

Ar 3: Relé Térmico RT 17

OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

En ésta termografía, observamos la regleta de conexión Ar1, arriba se encuentran a izquierda el Contactor C17 y a derecha el Relé Térmico RT 17 que dan marcha a la bomba de agua del mar N° 1, que refrigera a los motores principales 1 y 2 incluyendo a los Voith.

Con el sistema de refrigeración en marcha, podemos detectar una anomalía en la regleta de conexiones, ya que su temperatura asciende a 74,2°C. Mediante la función diferencia, podemos comprobar que existe un incremento de temperatura de casi 30°C más de lo normal en dicha regleta al comparar con su propio contactor Ar 2. Éste incremento de temperatura es causado por el mal estado de las conexiones, disminución del área de contacto, corrosión, degradación del mismo, creando aumento de la densidad de flujo en el conductor y por tanto un incremento de temperatura, punto débil para la instalación y futuro conato de incendio.

Ar 3, Relé Térmico, posee una temperatura máxima de 53,6°C, temperatura normal por el cometido que tiene.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara

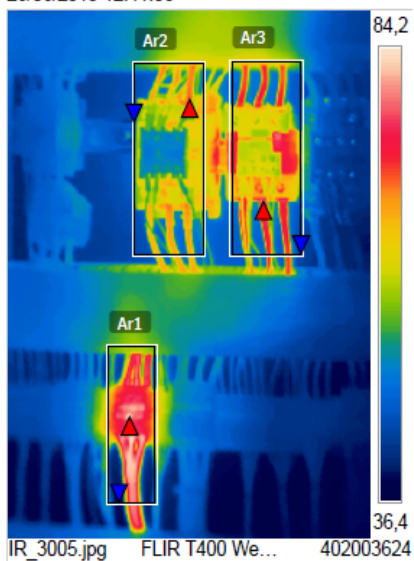


Medidas		°C
Ar1	Max	84,3
	Min	37,8
	Average	55,6
Ar2	Max	58,8
	Min	39,0
	Average	46,1
Ar3	Max	72,4
	Min	39,6
	Average	49,8
Diferencia		25,5
Ar1.Max - Ar2.Max		

Parámetros

Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

26/06/2013 12:41:38



CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 5

Anotaciones de texto

Designación	Cuadro eléctrico BAS MP 1 y 2, Nº 1.
Ubicación	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Cuadro eléctrico.
Componente:	Equipo eléctrico.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Relevancia Grave

26/06/2013 12:41:38



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Tras realizar la maniobra de remolque, los resultados que se obtienen, son similares al termograma anterior Nº 4. El relé térmico RT 17 ha ascendido a 72,4°C uno de sus cables.

CONCLUSIONES Y ACCIONES:

Relevancia GRAVE, urgencia de actuación. Revisar, sanear y limpiar todas las conexiones de todos los cables que comprenden: Regleta de conexiones C17, Relé Térmico RT 17 y Contactor C17.
PRÓXIMO PREDICTIVO dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Ar1	Max	35,2	
	Min	32,2	
	Average	33,2	

Parámetros

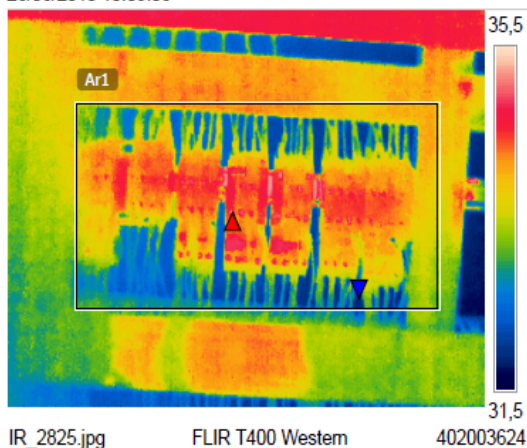
Emisividad	0.96
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 6

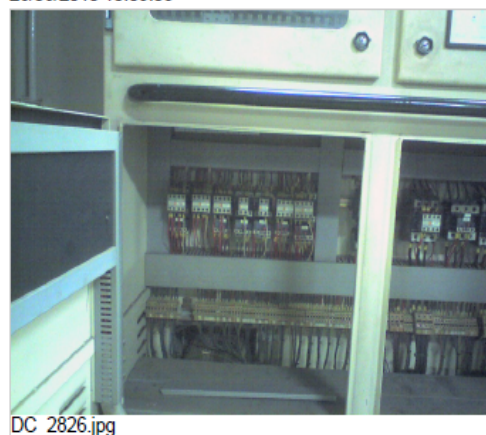
Anotaciones de texto

Designación:	Cuadro Eléctrico Ventilación en CM.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Cuadro eléctrico.
Componente:	Equipo eléctrico.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 10:09:08



26/06/2013 10:09:08



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Todos los elementos termografiados están en condiciones. Las conexiones alcanzan una temperatura dentro de la normalidad, ya que la máxima registrada en la termografía es de unos 35,2°C.

Este cuadro alimenta a los siguientes equipos:

Ventilación de Cámara de Máquinas;

Bomba de reserva de alimentación de combustible Nº 1;

Bomba de reserva de agua dulce de motor principal Nº 1.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Ar1	Max	70,3	
	Min	36,0	
	Average	38,1	

Parámetros

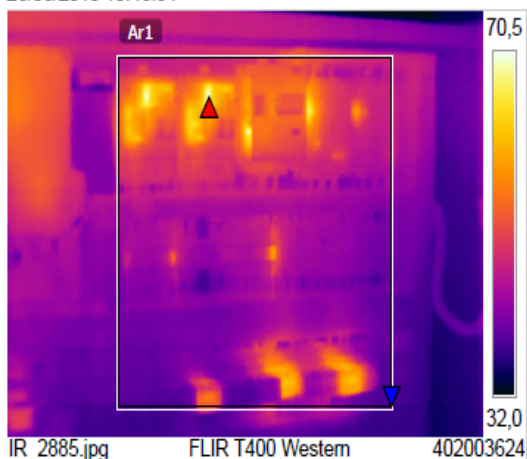
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: N° 7

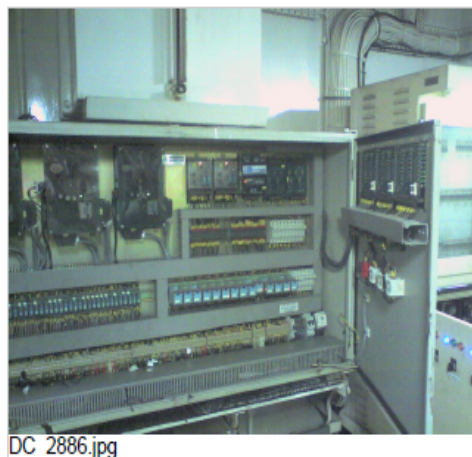
Anotaciones de texto

Designación:	Cuadro Eléctrico DC 24V en CM.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Cuadro eléctrico.
Componente:	Equipo eléctrico.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 10:46:34



26/06/2013 10:46:34



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Todos los elementos termografiados están en condiciones. Los puntos de temperatura elevada, corresponden a las resistencias de los circuitos electrónicos que componen el cuadro eléctrico .

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas

	°C
Sp1	39,8
Sp2	39,2
Sp3	46,1
Sp4	42,6
Sp5	42,3

Parámetros

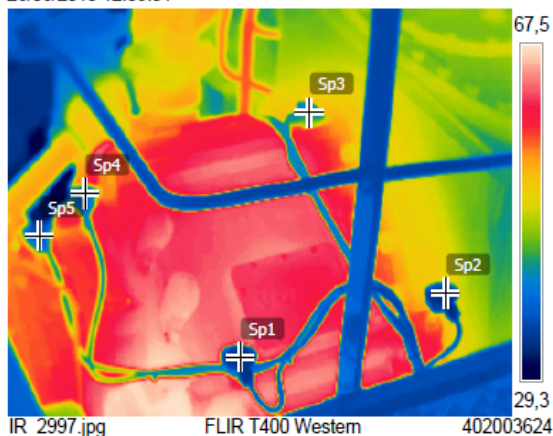
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 8

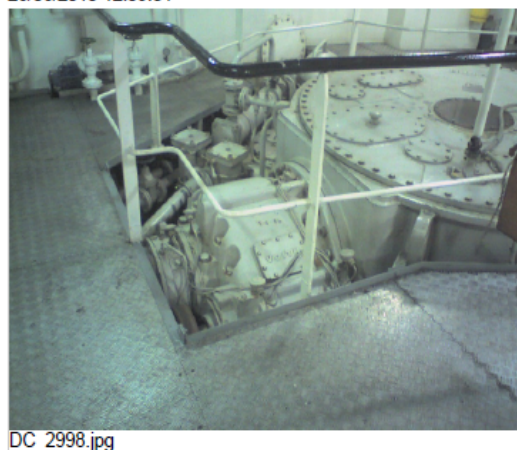
Anotaciones de texto

Designación:	Propulsor Voith 1 Br.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Propulsor Cicloidal.
Componente:	Equipo mecánico.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 12:39:31



26/06/2013 12:39:31



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Esta captura se realiza después de haber realizado la maniobra de remolque, los elementos termografiados están correctos, la temperatura del Voith es correcta, 67,5°C situación, donde todo el caudal de aceite lubricante pasa a por el enfriador de aceite.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Máquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Ar1	Max	60,0	
	Min	29,9	
	Average	49,0	

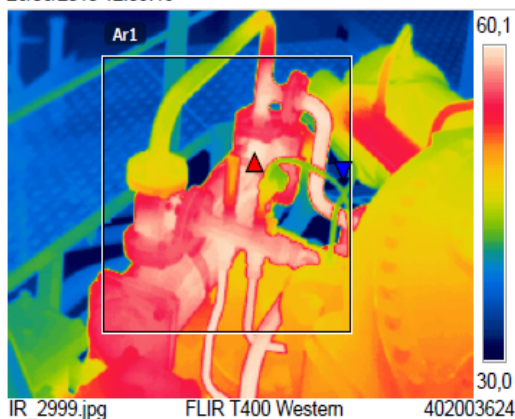
Parámetros	
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 9

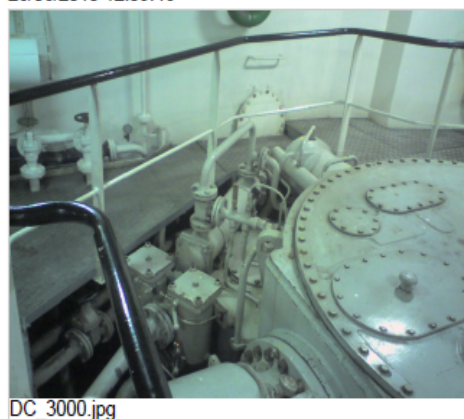
Anotaciones de texto

Designación:	Enfriador aceite Voith Schneider 1 Br
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Propulsor Voith 1 Br.
Componente:	Enfriador de aceite.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 12:39:46



26/06/2013 12:39:46



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Captura realizada despues de la maniobra de remolque, el sistema mantiene una temperatura máxima de 60°C, punto óptimo de funcionamiento, indicador de trabajo del Voith dentro de parámetros.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Ar1	Max	79,2	
	Min	28,1	
	Average	59,7	

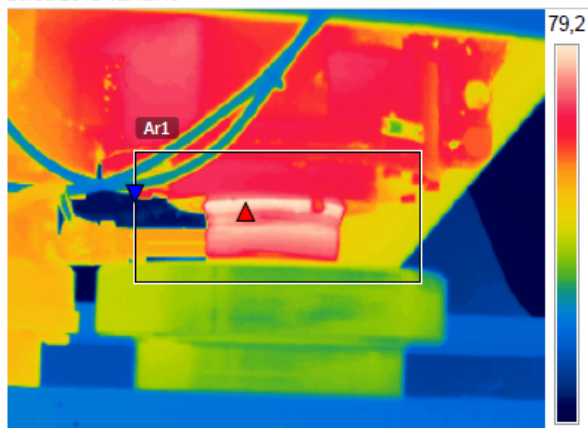
Parámetros	
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 10

Anotaciones de texto

Designación:	Eje transmisión potencia al Voith 1 Br.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Voith 1 Br.
Componente:	Sistema mecánico
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 12:42:46

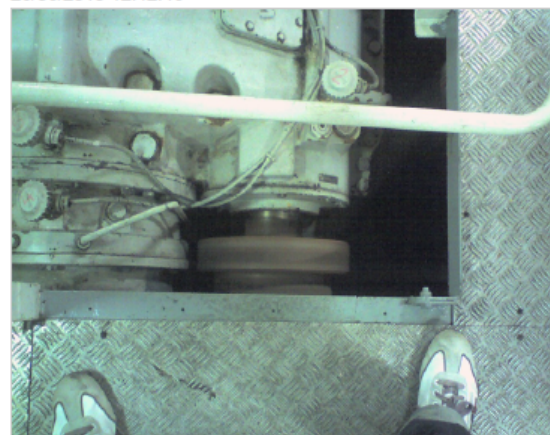


IR_3009.jpg

FLIR T400 Western

402003624

26/06/2013 12:42:46



DC_3010.jpg

OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Captura realizada después de la maniobra de remolque, el sistema transmite la potencia del motor principal de Br. al Voith, éste mantiene una temperatura máxima de 79,2°C.

Describir un diagnóstico en éste eje sería algo precipitado a primera vista, habría que realizar un seguimiento y una trazabilidad de temperaturas, teniendo en cuenta también los mantenimientos realizados, temperaturas antes del desmontaje y después del montaje, horas de servicio de los cojinetes o radamientos que indica el fabricante, alineación del mismo, etc.

CONCLUSIONES:

Realizar un seguimiento del mismo, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 1 mes.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Máquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Ar1	Max	50,8	
	Min	28,6	
	Average	43,1	

Parámetros

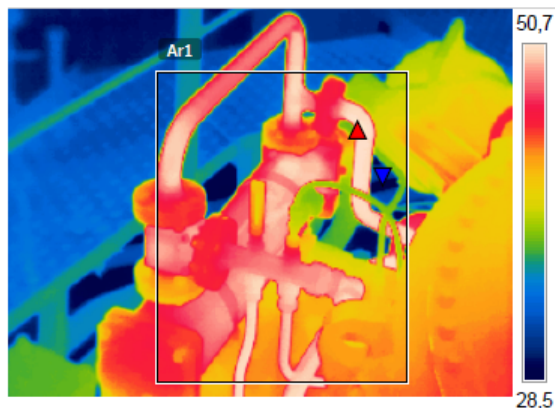
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 11

Anotaciones de texto

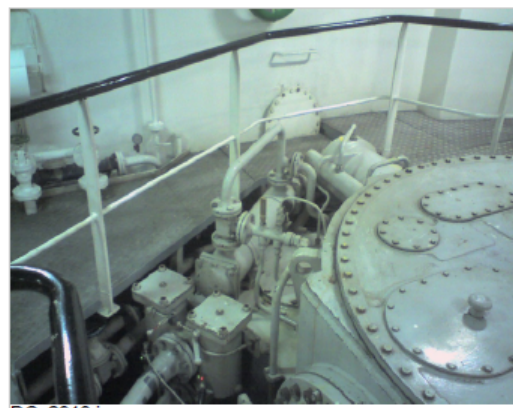
Designación:	Enfriador aceite Voith Schneider 1 Br
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Propulsor Voith 1 Br.
Componente:	Enfriador de aceite.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 11:12:33



IR_2917.jpg FLIR T400 Western 402003624

26/06/2013 11:12:33



DC_2918.jpg

OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Captura realizada con motor entre 800-900 rpm, amarrado en muelle. La propulsión no se encuentra en carga, dando como resultado valores normales de temperatura para la situación en la que se encuentra, unos 50°C. El caudal de enfriamiento de aceite es regulado según temperatura, y en éste caso se encontrará en posición intermedia a flujo parcial.

Cabe indicar, que la refrigeración del aceite del Voith y el del motor principal se consigue con el circuito de agua dulce, que a su vez es enfriado por el circuito de agua salada en los intercambiadores de calor, en éste caso el de Br.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Ar1	Max	70,3	
	Min	26,7	
	Average	48,9	

Parámetros

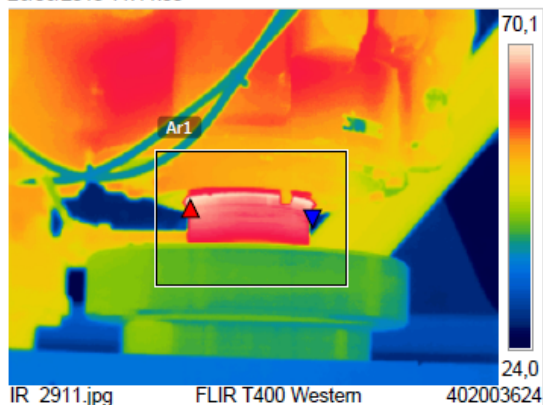
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: N° 12

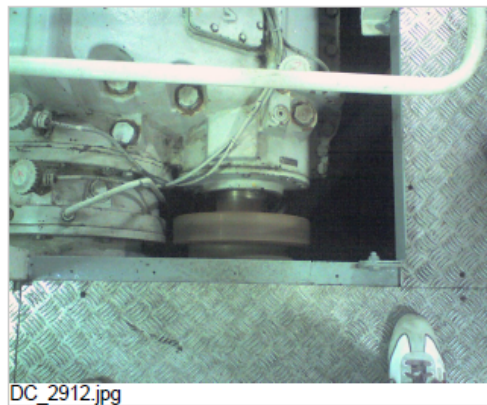
Anotaciones de texto

Designación:	Eje transmisión potencia al Voith 1 Br.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Voith 1 Br.
Componente:	Sistema mecánico.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 11:11:33



26/06/2013 11:11:33



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Captura realizada con motor entre 800-900 rpm, amarrado en muelle. La propulsión no se encuentra en carga, dando como resultado valores de temperatura para la situación en la que se encuentra, de 70°C. No podríamos sacar una conclusión, a menos que el fabricante del Voith nos oriente, tal y como se ha comentado en la captación N° 10

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Ar1	Max	66,9	
	Min	40,0	
	Average	61,6	
Sp1		40,0	
Sp2		40,9	
Sp3		44,6	
Sp4		44,8	
Sp5		42,7	

Parámetros

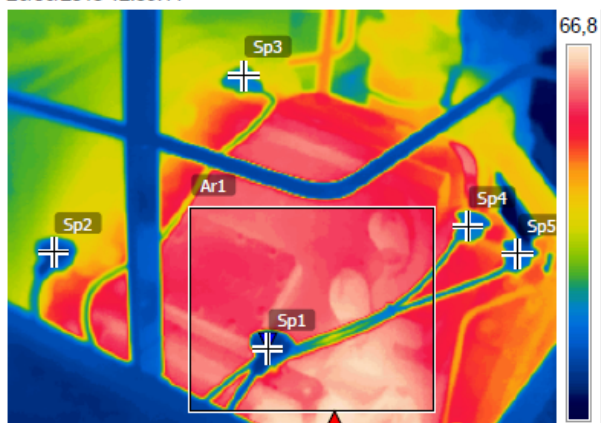
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 13

Anotaciones de texto

Designación:	Propulsor Voith 2 Er.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Propulsor Cicloidal.
Componente:	Equipo mecánico.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 12:39:11

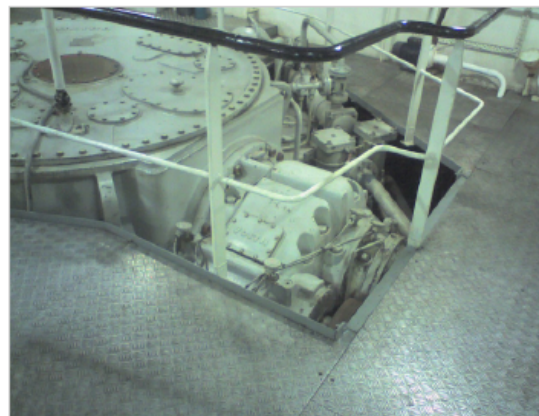


IR_2995.jpg

FLIR T400 Western

402003624

26/06/2013 12:39:11



DC_2996.jpg

OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Esta captura se realiza después de haber realizado la maniobra de remolque, los elementos termografiados están correctos, la temperatura del Voith es correcta, 66,9°C situación, donde todo el caudal de aceite lubricante pasa a por el enfriador de aceite.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Máquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas		°C
Ar1	Max	59,0
	Min	31,7
	Average	50,4

Parámetros

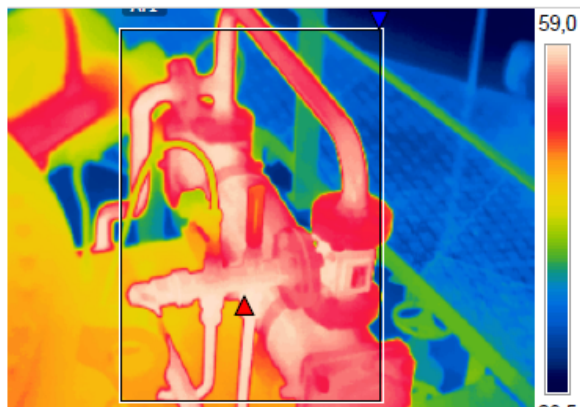
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 14

Anotaciones de texto

Designación:	Enfriador aceite Voith Schneider 2 Er
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Propulsor Voith 2 Er.
Componente:	Enfriador de aceite.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 12:38:24

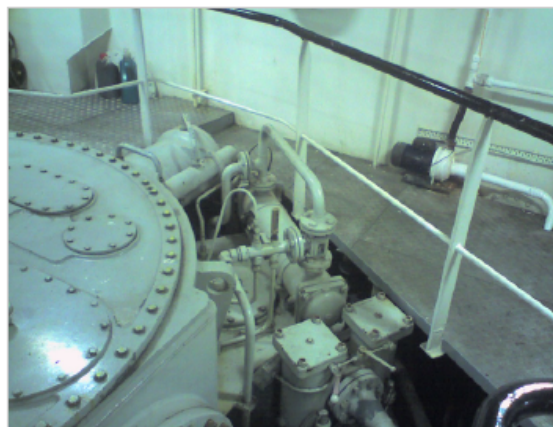


IR_2993.jpg

FLIR T400 Western

402003624

26/06/2013 12:38:24



DC_2994.jpg

OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Captura realizada después de la maniobra de remolque, el sistema mantiene una temperatura máxima de 59°C, punto óptimo de funcionamiento, indicador de trabajo del Voith dentro de parámetros.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Máquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Ar1	Max	72,9	
	Min	28,6	
	Average	58,0	

Parámetros

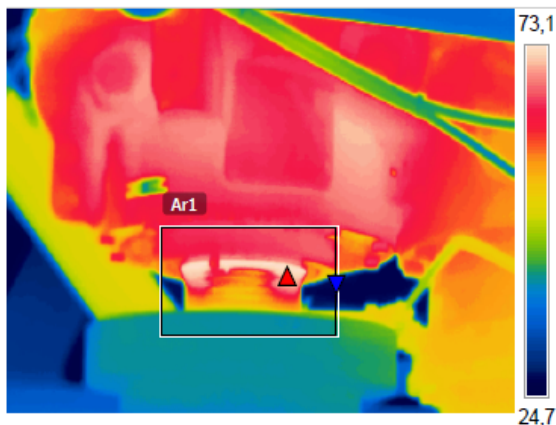
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: N° 15

Anotaciones de texto

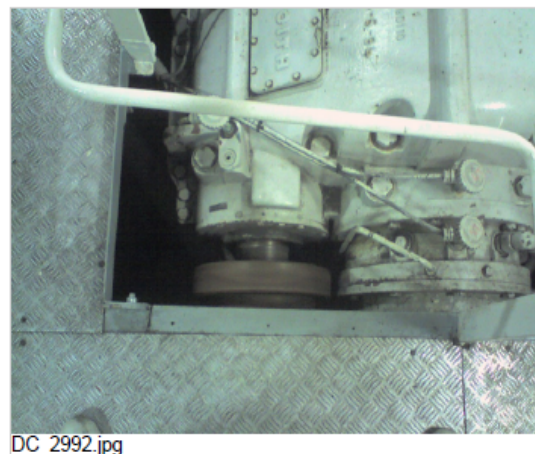
Designación:	Eje transmisión potencia al Voith 2 Er.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Voith 2 Er.
Componente:	Sistema mecánico.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 12:38:02



IR_2991.jpg FLIR T400 Western 402003624

26/06/2013 12:38:02



DC_2992.jpg

OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Captura realizada después de la maniobra de remolque, el sistema transmite la potencia del motor principal de Er. al Voith, éste mantiene una temperatura máxima de 73,1°C. Describir un diagnóstico en éste eje sería algo precipitado a primera vista, habría que realizar un seguimiento y una trazabilidad de temperaturas, teniendo en cuenta también los mantenimientos realizados, temperaturas antes del desmontaje y después del montaje, horas de servicio de los cojinetes o radamientos que indica el fabricante, alineación del mismo, etc.

CONCLUSIONES:

Realizar un seguimiento del mismo, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 1 mes.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Máquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas		°C
Ar1	Max	50,5
	Min	28,8
	Average	42,4
Sp1		40,0

Parámetros

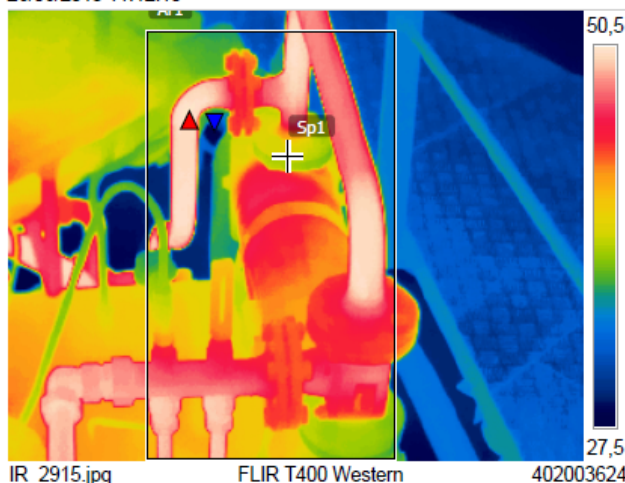
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 16

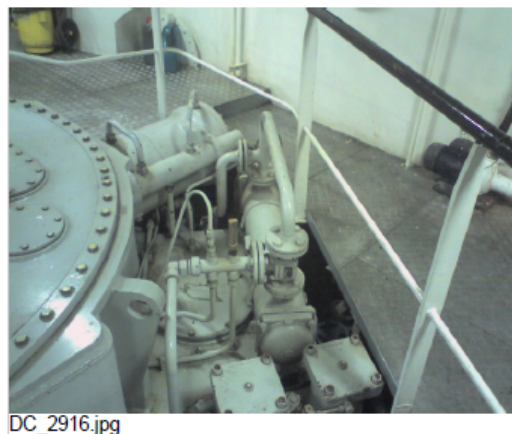
Anotaciones de texto

Designación:	Enfriador aceite Voith Schneider 2 Er
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Propulsor Voith 2 Er.
Componente:	Enfriador de aceite.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 11:12:15



26/06/2013 11:12:15



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Captura realizada con motor entre 800-900 rpm, amarrado en muelle. La propulsión no se encuentra en carga, dando como resultado valores normales de temperatura para la situación en la que se encuentra, unos 50°C. El caudal de enfriamiento de aceite es regulado según temperatura, y en éste caso se encontrará en posición intermedia a flujo parcial.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Ar1	Max	61,3	
	Min	26,5	
	Average	49,4	

Parámetros

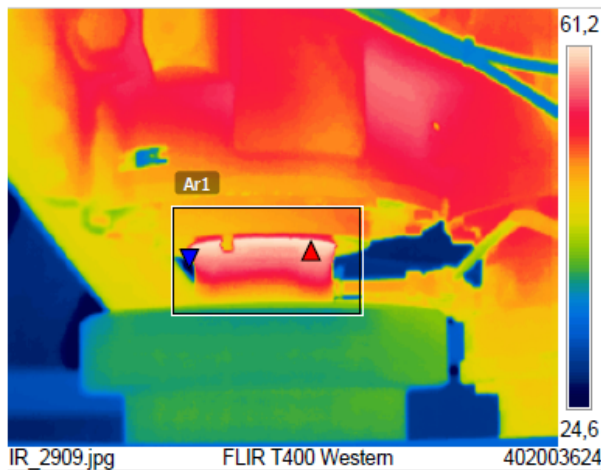
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 17

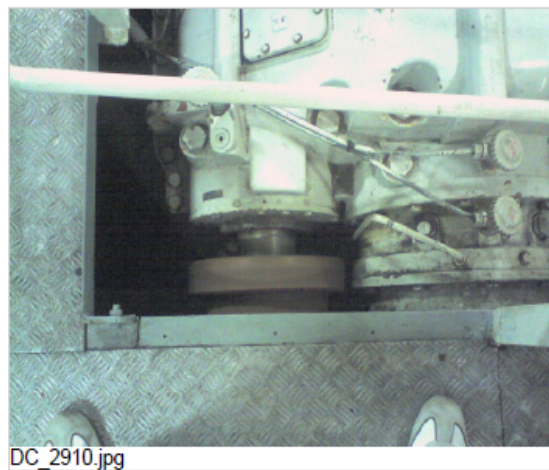
Anotaciones de texto

Designación:	Eje transmisión potencia al Voith 2 Er.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Voith 2 Er.
Componente:	Sistema mecánico.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 11:11:17



26/06/2013 11:11:17



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Captura realizada con motor entre 800-900 rpm, amarrado en muelle. La propulsión no se encuentra en carga, dando como resultado valores de temperatura para la situación en la que se encuentra, de 61,3°C. No podríamos sacar una conclusión, a menos que el fabricante del Voith nos oriente, tal y como se ha comentado en la captación Nº 15.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Li1	Max	192,0	
	Min	147,8	
	Average	167,9	
Li2	Max	66,9	
	Min	59,5	
	Average	63,0	

Parámetros

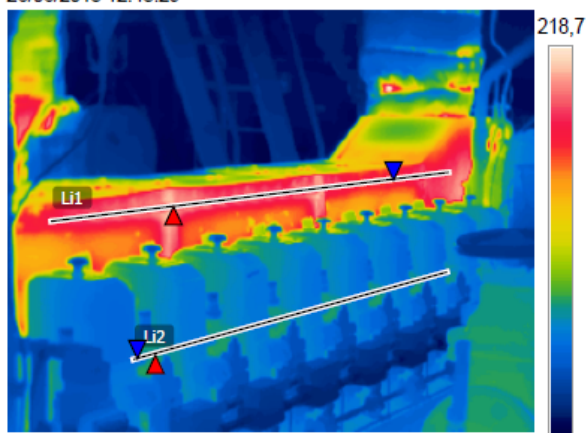
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: N° 18

Anotaciones de texto

Designación:	Motor Principal 1 Br.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Motor Diesel 1 Br.
Componente:	Sistema mecánico.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 12:43:29



IR_3011.jpg

FLIR T400 Western

402003624

26/06/2013 12:43:29



DC_3012.jpg

OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Captura realizada tras la maniobra de remolque, dando como resultado valores de temperatura para la situación en la que se encuentra, de 67°C como máximo, el sistema de refrigeración trabaja adecuadamente. El valor mas alto corresponde al colector de exahustación 218,7°C.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Ar1	Max	71,4	
	Min	24,7	
	Average	41,7	
Sp1		30,4	
Parámetros			
Emisividad		0.97	
Temp. refl.		33 °C	
Distancia		1 m	
Temp. atmosférica		30 °C	
Temp. óptica ext.		20 °C	
Trans. óptica ext.		1	
Humedad relativa		60 %	

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 19

Anotaciones de texto

Designación:	Intercambiador 1 Br.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Intercambiador de Temperatura 1 Br.
Componente:	Refrigeración.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 12:40:20



26/06/2013 12:40:20



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Captura realizada tras la maniobra de remolque, en éste dispositivo confluyen los flujos de agua dulce de refrigeración del motor principal 1 de Br. y del Voith 1 Br., en contraste con el flujo de agua de mar. A su vez, el agua dulce enfría el aceite del motor principal y el aceite del Voith. Temperaturas correctas.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Máquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas		°C
Ar1	Max	61,9
	Min	37,6
	Average	44,5

Parámetros

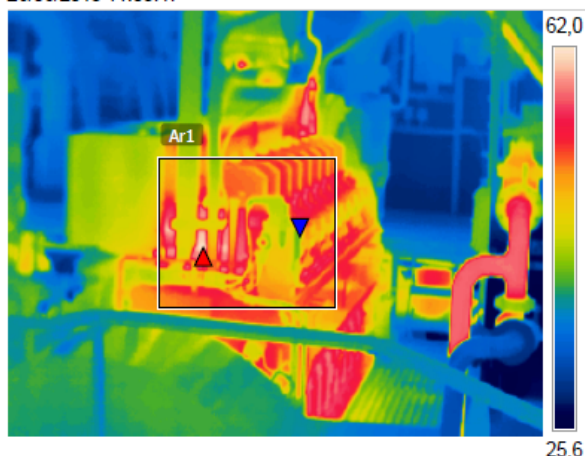
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 20

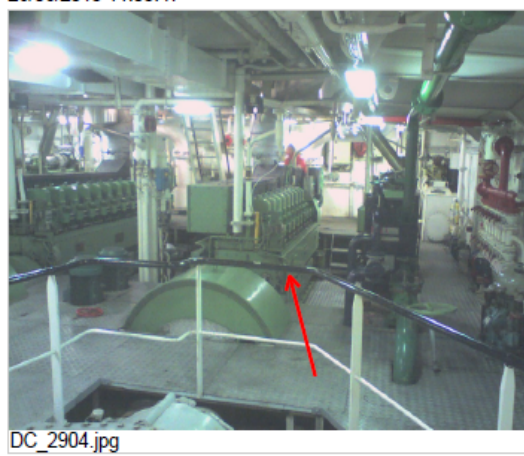
Anotaciones de texto

Designación:	Motor Principal 1 Br.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Motor Diesel 1 Br.
Componente:	Sistema mecánico.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 11:05:47



26/06/2013 11:05:47



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Captura realizada en muelle con motor entre 800-900 rpm, dando como resultado valores de temperatura para la situación en la que se encuentra, de 62°C como máximo, el sistema de refrigeración trabaja adecuadamente.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Ar1	Max	66,3	
	Min	24,8	
	Average	38,8	

Parámetros

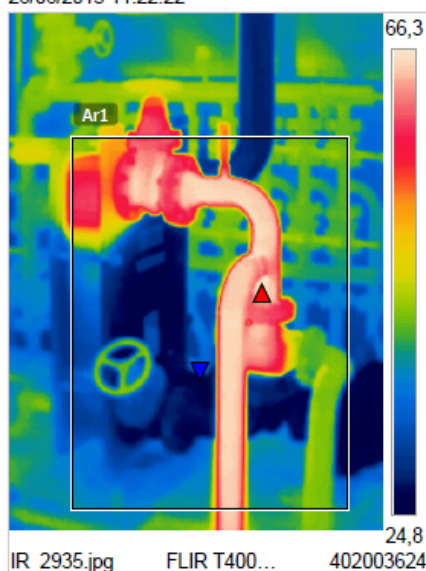
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: N° 21

Anotaciones de texto

Designación:	Intercambiador 1 Br.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Intercambiador de Temperatura 1 Br.
Componente:	Refrigeración.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 11:22:22



26/06/2013 11:22:22



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Captura realizada en muelle con régimen de 800-900 rpm, en éste dispositivo confluyen los flujos de agua dulce de refrigeración del motor principal 1 de Br. y del Voith 1 Br., en contraste con el flujo de agua de mar. A su vez, el agua dulce enfría el aceite del motor principal y el aceite del Voith. Temperaturas correctas.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Máquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Li1	Max	69,6	
	Min	59,2	
	Average	64,6	
Li2	Max	228,1	
	Min	179,8	
	Average	194,7	

Parámetros

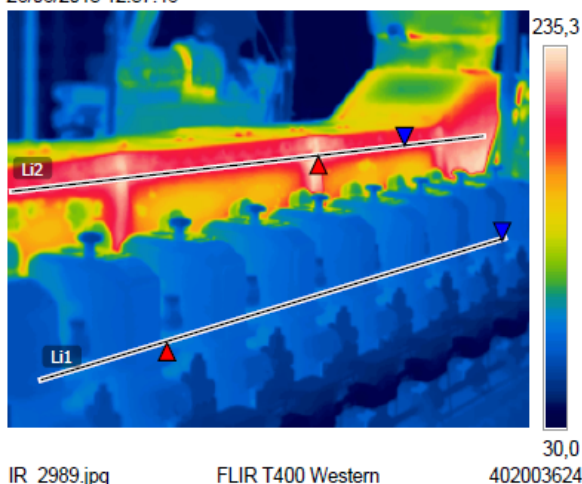
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 22

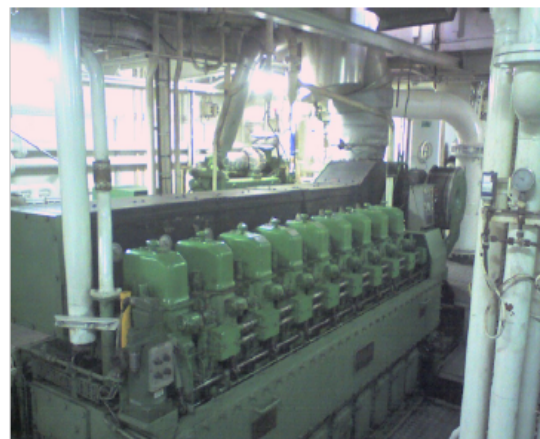
Anotaciones de texto

Designación:	Motor Principal 2 Er.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Motor diesel 2 Er.
Componente:	Sistema mecánico.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 12:37:46



26/06/2013 12:37:46



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Captura realizada tras la maniobra de remolque, dando como resultado valores de temperatura para la situación en la que se encuentra, de 69,6°C como máximo, el sistema de refrigeración trabaja adecuadamente. El valor mas alto corresponde al colector de exahustación 235,3°C.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas		°C
Ar1	Max	69,6
	Min	24,5
	Average	37,4

Parámetros

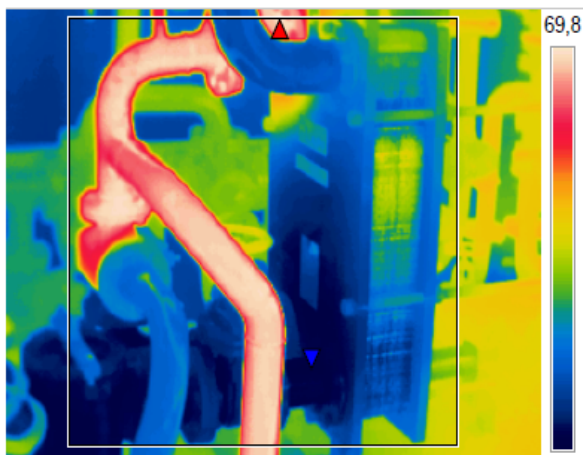
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: N° 23

Anotaciones de texto

Designación:	Intercambiador 2 Er.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Intercambiador de Temperatura 2 Er.
Componente:	Refrigeración.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 12:37:28

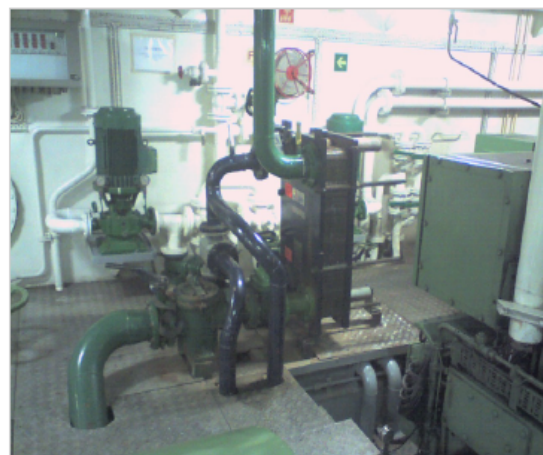


IR_2987.jpg

FLIR T400 Western

402003624

26/06/2013 12:37:28



DC_2988.jpg

OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Captura realizada tras la maniobra de remolque, en éste dispositivo confluyen los flujos de agua dulce de refrigeración del motor principal 2 de Er. y del Voit 2 Er., en contraste con el flujo de agua de mar. A su vez, el agua dulce enfría el aceite del motor principal y el aceite del Voith. Temperaturas correctas.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Li1	Max	56,6	
	Min	38,7	
	Average	47,3	

Parámetros

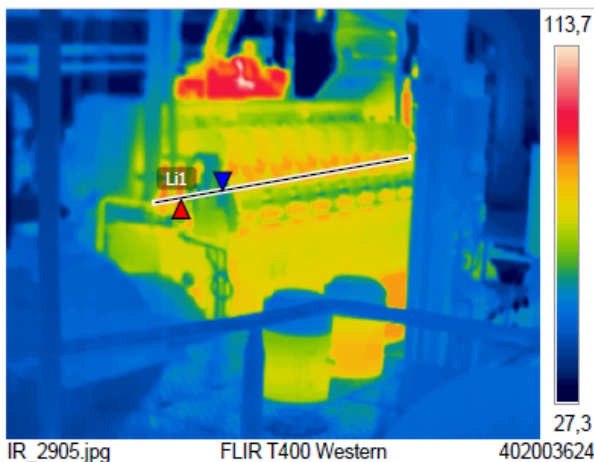
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 24

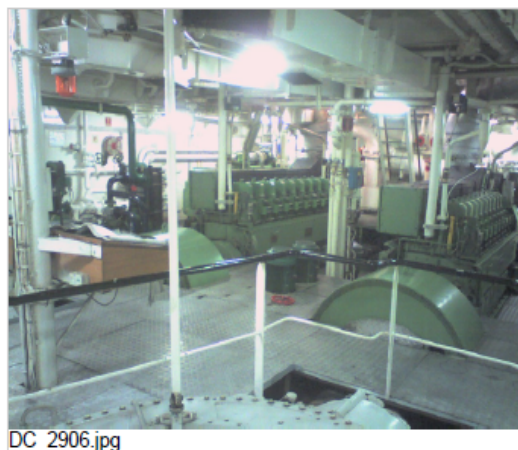
Anotaciones de texto

	Motor Principal 2 Er.
	Cámara de Máquinas.
	Motor diesel 2 Er
	Sistema mecánico.
	18 años, 20.000 horas.
	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 11:05:57



26/06/2013 11:05:57



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Captura realizada en muelle con motor recién puesto en marcha a ralentí, dando como resultado valores de temperatura para la situación en la que se encuentra, de 56,6 °C como máximo. El valor más alto que aparece, resulta del colector de exahustación (turbo) del grupo auxiliar Nº 2 que ha detrás.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



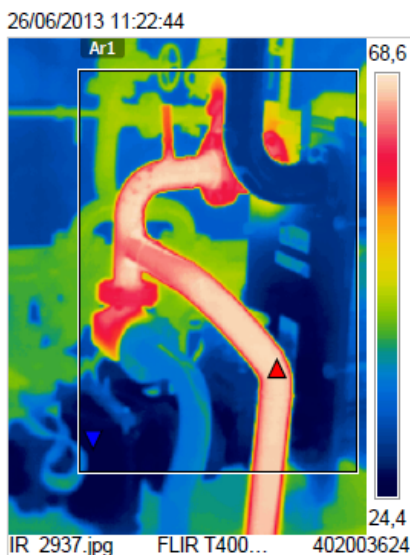
Medidas			°C
Ar1	Max	68,7	
	Min	24,6	
	Average	36,4	

Parámetros	
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 25

Anotaciones de texto

Designación:	Intercambiador 2 Er.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Intercambiador de Temperatura 2 Er.
Componente:	Refrigeración.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.



26/06/2013 11:22:44



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Captura realizada en muelle con régimen de 800-900 rpm, en éste dispositivo confluyen los flujos de agua dulce de refrigeración del motor principal 2 de Er. y del Voit 2 Er., en contraste con el flujo de agua de mar. A su vez, el agua dulce enfría el aceite del motor principal y el aceite del Voith. Temperaturas correctas.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Máquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Ar1	Max	73,2	
	Min	26,4	
	Average	53,7	

Parámetros

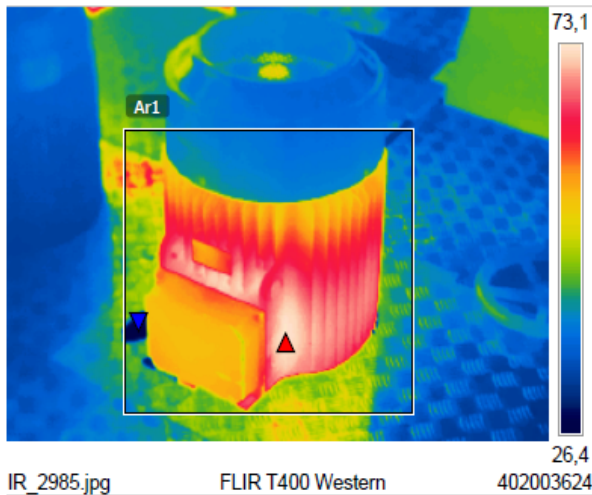
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 26

Anotaciones de texto

Designación:	Motor Eléctrico BAS MP 1 y 2, Nº 1.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Motor eléctrico.
Componente:	Electromecánico.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 12:37:14



26/06/2013 12:37:14



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Esta captura se realiza después de haber realizado la maniobra de remolque, los elementos termografiados están correctos, la temperatura del motor es correcta, 73,2°C, valor admisible después de realizar la operación.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Máquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Ar1	Max	50,9	
	Min	31,9	
	Average	40,8	

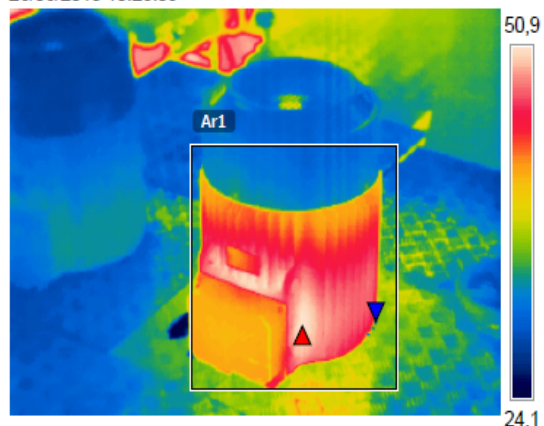
Parámetros	
Emisividad	0.89
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 27

Anotaciones de texto

Designación:	Motor Eléctrico BAS MP 1 y 2, Nº 1.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Motor eléctrico.
Componente:	Electromecánico.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 10:28:39



IR_2855.jpg FLIR T400 Western 402003624

26/06/2013 10:28:39



DC_2856.jpg

OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Esta captura se realiza tras pasar media hora de funcionamiento, los elementos termografiados están correctos, la temperatura del motor es correcta, 50,9°C, valor dentro de parámetros .

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas		°C
Ar1	Max	50,8
	Min	26,7
	Average	40,2

Parámetros

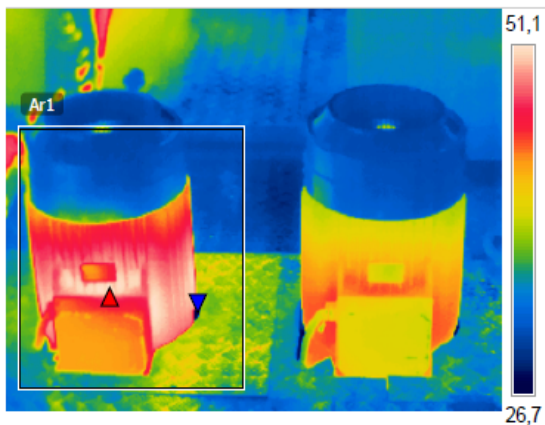
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 28

Anotaciones de texto

Designación:	Motor Eléctrico BAS MP 1 y 2, Nº 2.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Motor eléctrico.
Componente:	Electromecánico.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 10:52:55

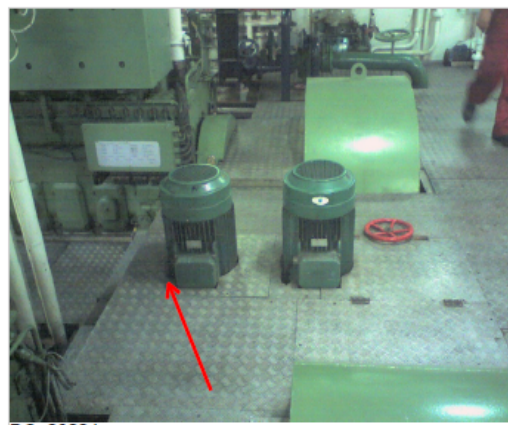


IR_2901.jpg

FLIR T400 Western

402003624

26/06/2013 10:52:55



DC_2902.jpg

OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Esta captura se realiza tras pasar veinte minutos de funcionamiento para su prueba, los elementos termografiados están correctos, la temperatura del motor es correcta, 50,8°C, valor igual al resultado del motor Nº 1 en las mismas condiciones y que ahora se encuentra parado.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas °C

Ar1	Max	107,4
	Min	33,1
	Average	50,8
Ar2	Max	194,7
	Min	33,1
	Average	72,3
Sp1		121,1
Sp2		47,0
Sp3		36,9

Parámetros

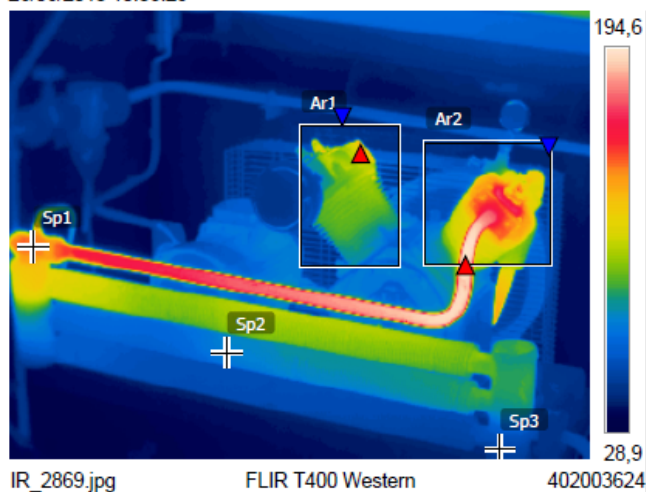
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 29

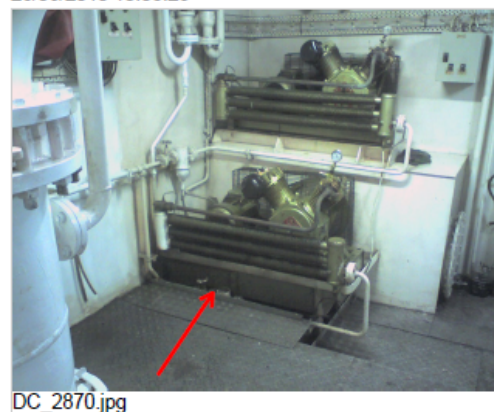
Anotaciones de texto

Designación:	Compresor Aire Arranque (Inferior).
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Maquina desplazamiento positivo.
Componente:	Equipo mecánico.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 10:38:28



26/06/2013 10:38:28



Ar1: Primera Compresión.

Ar2: Segunda Compresión.

Sp1, Sp2, Sp3: Recorrido del aire para su enfriamiento por el enfriador.

OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Esta captura se realiza durante la compresión del aire para iniciar el arranque de los motores principales, los elementos termografiados están correctos, este compresor es de doble etapa, el primer cilindro de mayor diámetro y menor presión, por tanto menor temperatura, en el segundo cilindro, menor diámetro, mayor presión y mayor temperatura, después se puede observar la variación de la temperatura conforme el aire recorre el enfriador de aire.

CONCLUSIONES Y ACCIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Máquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas		°C
Ar1	Max	51,7
	Min	34,0
	Average	44,7

Parámetros

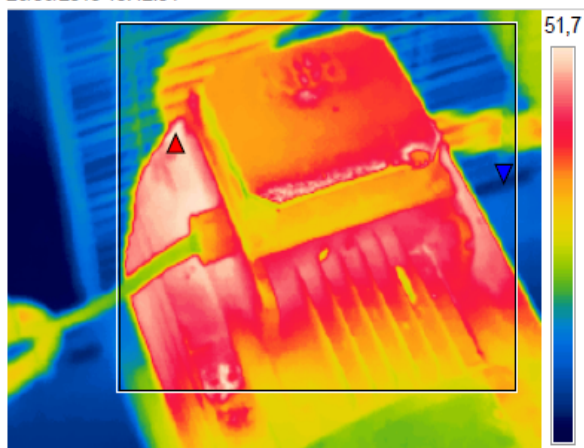
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 30

Anotaciones de texto

Designación:	Motor Eléctrico compresor (Inferior).
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Motor eléctrico.
Componente:	Electromagnético.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 10:42:04



IR_2877.jpg

FLIR T400 Western

31,5
402003624

26/06/2013 10:42:04



DC_2878.jpg

OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Esta captura se realiza durante la compresión del aire para iniciar el arranque de los motores principales, el sistema mantiene una temperatura máxima de 51,7°C, punto óptimo de funcionamiento, indicador de trabajo dentro de parámetros.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Ar1	Max	113,3	
	Min	32,3	
	Average	56,8	
Ar2	Max	194,0	
	Min	31,4	
	Average	83,6	

Parámetros

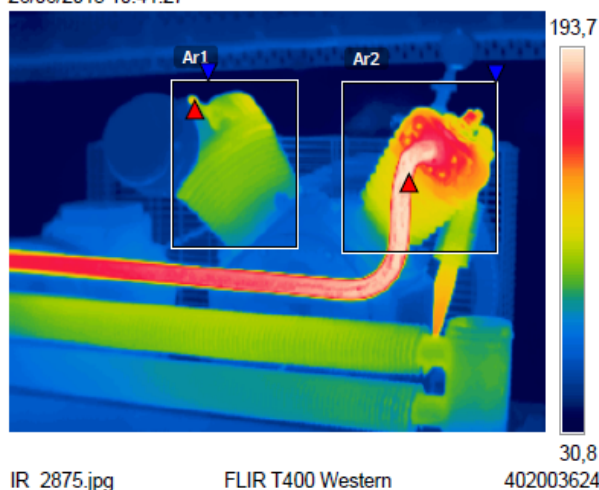
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 31

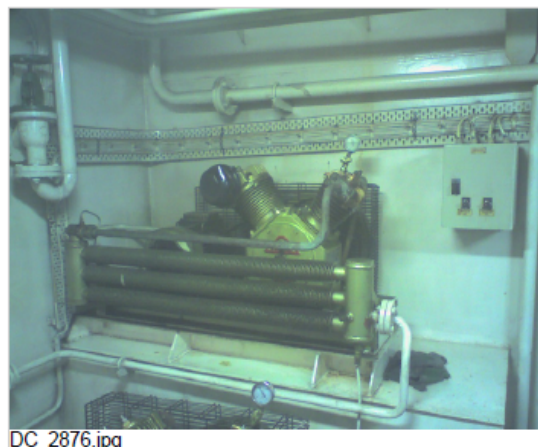
Anotaciones de texto

Designación:	Compresor Aire Arranque (Superior).
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Maquina desplazamiento positivo.
Componente:	Equipo mecánico.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 10:41:27



26/06/2013 10:41:27



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Esta captura se realiza durante la compresión del aire para iniciar el arranque de los motores principales, los elementos termografiados están correctos, este compresor es de doble etapa, el primer cilindro de mayor diámetro y menor presión, por tanto menor temperatura, en el segundo cilindro, menor diámetro, mayor presión y mayor temperatura, después se puede observar la variación de la temperatura conforme el aire recorre el enfriador de aire. al igual que en la captación Nº29.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Máquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Ar1	Max	55,3	
	Min	32,3	
	Average	47,8	

Parámetros

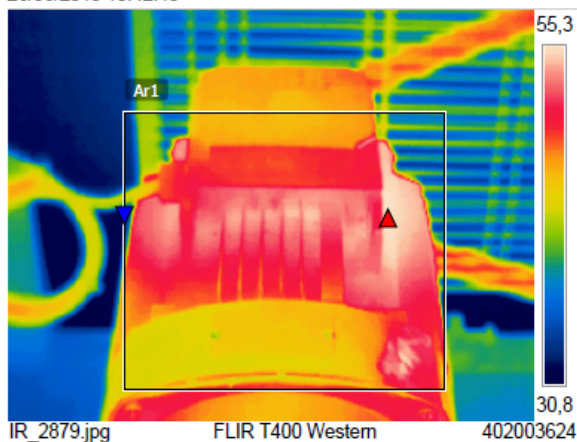
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 32

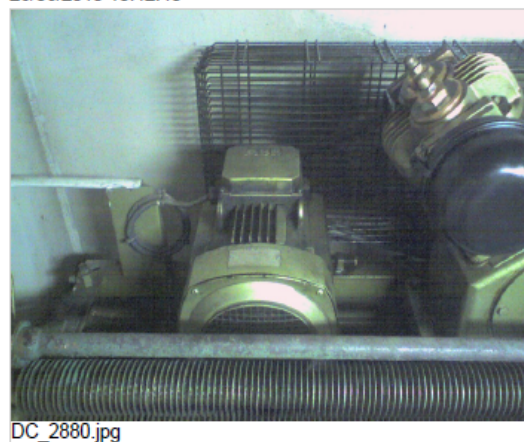
Anotaciones de texto

Designación:	Motor Eléctrico compresor (Superior).
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Motor eléctrico.
Componente:	Electromagnético.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 10:42:40



26/06/2013 10:42:40



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Esta captura se realiza durante la compresión del aire para iniciar el arranque de los motores principales, el sistema mantiene una temperatura máxima de 55,3°C, punto óptimo de funcionamiento, indicador de trabajo dentro de parámetros.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Ar1	Max	44,4	
	Min	37,9	
	Average	41,5	

Parámetros

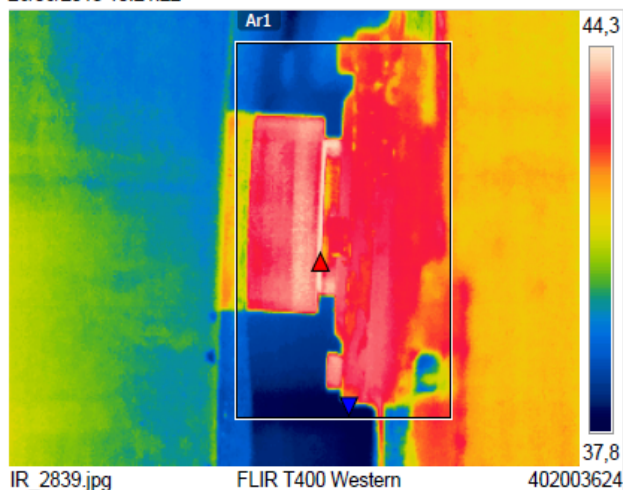
Emisividad	0.89
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 33

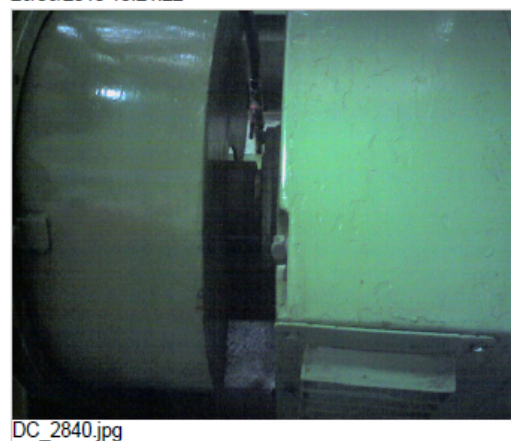
Anotaciones de texto

Designación:	Acoplamiento del Gen. Aux. 2 al Alternador Er.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Acople Generador-Alternador.
Componente:	Eje.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 10:21:22



26/06/2013 10:21:22



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Captura realizada en movimiento, el sistema mantiene una temperatura máxima de 44,4°C, punto óptimo de funcionamiento, indicador de trabajo dentro de parámetros.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas		°C
Ar1	Max	238,6
	Min	36,8
	Average	75,3

Parámetros

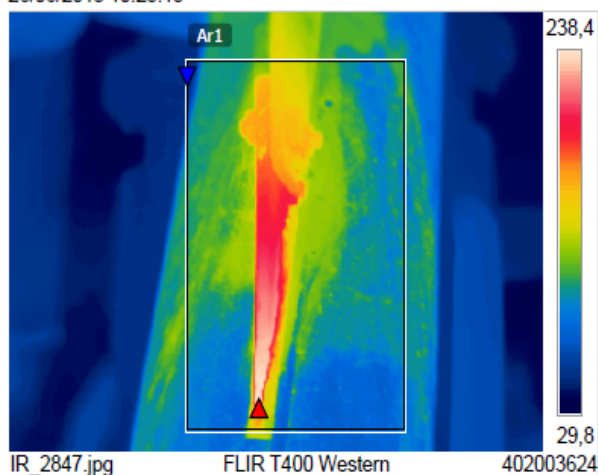
Emisividad	0.89
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: N° 34

Anotaciones de texto

Designación:	Aislamiento conducto exahustación Gen. Aux. 2.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Exahustación Gen. Aux. 2.
Componente:	Aislamiento.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 10:25:13



26/06/2013 10:25:13



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Captura realizada durante el funcionamiento del grupo electrógeno, la temperatura máxima de 238,4°C, es el punto de anclaje, una orejeta para soportar el conducto de exahustación y de mínima area expuesta, el resto de la superficie es aislado, permitiendo una emisión máxima de 30°C.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas		°C
Ar1	Max	197,0
	Min	36,6
	Average	68,2
Sp1		60,2
Sp2		69,3
Sp3		55,9

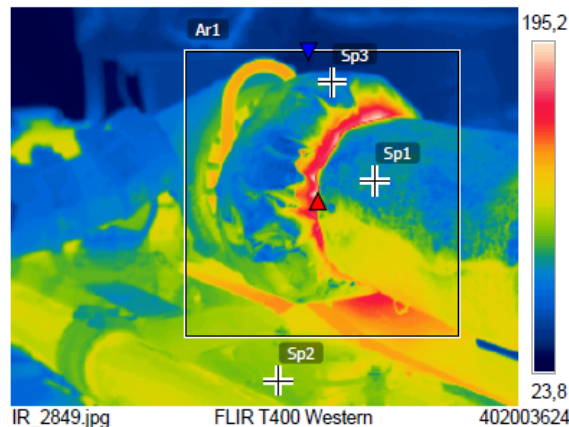
Parámetros	
Emisividad	0.89
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 35

Anotaciones de texto

Designación:	Aislamiento caracola del turbo del Gen. Aux. 2.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Turbo Gen. Auxiliar 2.
Componente:	Aislamiento.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 10:25:36



26/06/2013 10:25:36



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Captura realizada durante el funcionamiento del grupo electrógeno, la temperatura máxima de 197°C, es el punto de que separa a la unión de la caracola del turbo con el escape., el resto de la superficie es aislado, permitiendo una emisión máxima de 60°C aproximadamente, teniendo en cuenta que debajo está el motor emitiendo unos 70°C, y la radiación es reflejada en el material aislante.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Medidas			°C
Ar1	Max	121,9	
	Min	33,8	
	Average	67,0	
Sp1		56,5	
Sp2		53,0	

Parámetros

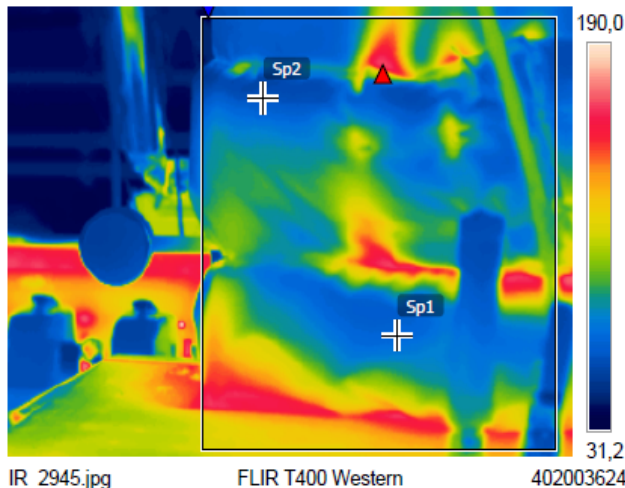
Emisividad	0.97
Temp. refl.	33 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	30 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	60 %

CLIENTE: BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA
FECHA: 26 de Junio de 2013.
TÉCNICO: Francisco Javier Villaescusa Egea.
CAPTACIÓN: Nº 36

Anotaciones de texto

Designación:	Aislamiento colector de exahustación Motor Ppal.1. Br.
Ubicación:	Cámara de Máquinas.
Equipo:	Colector exahustación.
Componente:	Aislante Térmico.
Estado:	18 años, 20.000 horas.
Prioridad:	Normal, hasta el próximo predictivo.

26/06/2013 11:27:39



26/06/2013 11:27:39



OBSERVACIONES / DIAGNÓSTICO:

Captura realizada durante el funcionamiento del motor principal 1 Br., la temperatura máxima de 190°C, es colector de escape del motor principal de Er, el resto de la superficie es aislada, permitiendo una emisión máxima de 120°C aproximadamente por las costuras de unión del material aislante, teniendo en cuenta que debajo está el motor emitiendo unos 70°C, y la radiación es reflejada en el propio aislante.

CONCLUSIONES:

Relevancia NORMAL, urgencia de actuación, PRÓXIMO PREDICTIVO.

ACCIONES:

Hacer un nuevo mantenimiento predictivo dentro de 6 meses.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



IMFORME DE SÍNTESIS

CAPTACION	RELEVANCIA	ACTUACIÓN
Captación nº1: Generador Auxiliar Nº 2 Er.	NORMAL PROX.	PREDICT.
Captación nº2: Cuadro eléctrico Principal AC 400V.	NORMAL PROX.	PREDICT.
Captación nº5: Cuadro eléctrico (BAS MP 1 Y 2), Nº 1.	GRAVE	INMEDIATA
Captación nº6: Cuadro Eléctrico Ventilación en CM.	NORMAL PROX.	PREDICT.
Captación nº7: Cuadro Eléctrico DC 24V en CM.	NORMAL PROX.	PREDICT.
Captación nº8: Propulsor Cicloidal Voith Schneider 1 Br.	NORMAL PROX.	PREDICT.
Captación nº9: Enfriador Lubricante Voith Schneider 1	NORMAL PROX.	PREDICT.
Captación nº10: Eje transmisión de potencia al Voith 1	LEVE	REALIZAR SEGUIMIENTO
Captación nº13: Propulsor Cicloidal Voith Schneider 2	NORMAL PROX.	PREDICT.
Captación nº14: Enfriador Lubricante Voith Schneider 2	NORMAL PROX.	PREDICT.
Captación nº15: Eje transmisión de potencia al Voith 2	NORMAL PROX.	PREDICT.
Captación nº18: Motor diesel 1 Br. En Maniobra.	NORMAL PROX.	PREDICT.
Captación nº19: Intercambiador 1 Br. En Maniobra.	NORMAL PROX.	PREDICT.
Captación nº22: Motor diesel 2 Er. En Maniobra.	NORMAL PROX.	PREDICT.
Captación nº23: Intercambiador 2 Er. En Maniobra.	NORMAL PROX.	PREDICT.
Captación nº26: Motor Eléctrico BAS MP 1 y 2, Nº 1. En	NORMAL PROX.	PREDICT.
Captación nº29: Compresor Aire de Arranque (Inferior).	NORMAL PROX.	PREDICT.
Captación nº30: Motor Eléctrico del compresor aire	NORMAL PROX.	PREDICT.
Captación nº31: Compresor Aire de Arranque (Superior).	NORMAL PROX.	PREDICT.
Captación nº32: Motor Eléctrico del compresor aire	NORMAL PROX.	PREDICT.
Captación nº33: Acoplamiento del Gen. Aux. 2 al	NORMAL PROX.	PREDICT.
Captación nº34: Aislamiento conducto exahustación Gen.	NORMAL PROX.	PREDICT.
Captación nº35: Aislamiento caracola del turbo del Gen.	NORMAL PROX.	PREDICT.
Captación nº36: Aislamiento colector de exahustación	NORMAL PROX.	PREDICT.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



TEMPERATURAS MÁXIMAS REGISTRADAS EN LOS EQUIPOS EN °C			
	ESTADO	1 Babor (Br.)	2 Estribor (Er.)
MOTOR PRINCIPAL			
Motor Diesel.	Sin Carga	62 56,6	
	Tras Maniobra	67	69,6
Intercambiador de calor.	Sin Carga	66,3 68,7	
	Tras Maniobra	71,4	69,8
SISTEMA PROPULSIVO			
Enfriador de Aceite.	Sin Carga	50,8 50,5	
	Tras Maniobra	60	59
Eje transmisión de potencia al Voith.	Sin Carga	70,3 61,3	
	Tras Maniobra	79,2	73,1
Propulsor Voith Schneider.	Sin Carga	-----	-----
	Tras Maniobra	67,5	66,9
SISTEMAS ELECTROMECAÑICOS			
Generador Auxiliar.	Sin Carga	-----	67,9
	Tras Maniobra	-----	-----
Acoplamiento Generador Auxiliar - Alternador.	Sin Carga	-----	44,4
	Tras Maniobra	-----	-----
		Nº 1	Nº 2
Motor Eléctrico BAS MP 1 y 2.	Sin Carga	50,9 50,8	
	Tras Maniobra	73,2	-----
		Inferior	Superior
Compresor Aire Arranque.	Compresor	107,4 / 194,7	113,3 / 194
	Motor Eléctrico	51,7	55,3
 AISLAMIENTOS COLECTORES MOTORES 			
		1 Babor (Br.)	2 Estribor (Er.)
Motor Principal		56,5	-----
Generador Auxiliar		-----	36,8

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



ANÁLISIS DEL REGISTRO DE TEMPERATURAS:

El *estado* de los equipos se refiere, a si la captura fue tomada sin carga, es decir, con el equipo conectado o en marcha, pero a ralentí, sin mover el buque de su posición, o si se han realizado las capturas durante maniobras normales de operación o inmediatamente después de dichas operaciones.

Las casillas con puntos indican que no se ha realizado el ensayo o no ha sido posible.

Br: Babor, lado izquierdo del barco en el sentido de avance o navegación.

Er.: Estribor, lado derecho del barco en el sentido de avance o navegación.

Motores Principales:

En el motor de Br, solo existe un incremento de 5 °C tras la maniobra, aceptable.

En el motor de Er, existe un incremento de 13 °C tras la maniobra, habría que repetir el ensayo sin carga del motor para cerciorarse del resultado.

Las diferencias entre ambos motores principales es de 2,6 °C tras la maniobra, inapreciable.

Intercambiadores de Calor:

Las diferencias existentes entre ambos intercambiadores tras la maniobra son de 1,6 °C, inapreciable.

La diferencia, antes y después de la maniobra entre los propios intercambiadores, también es aceptable.

Sistema Propulsivo:

Enfriadores de Aceite: Perfecto, prácticamente iguales.

Eje transmisión de potencia al Voith:

Sin carga, el eje de Br, tiene 9°C más que el de Er.

Tras realizar el remolque, el eje de Br, tiene 6,1°C más que el de Er.

Quizá sean diferencias pequeñas, pero sería recomendable hacer un seguimiento más cercano del eje transmisor de Br, pudiera ser causado por una alineación imprecisa del mismo, durante las varadas por mantenimiento.

Propulsores Voith: Existe una pequeña diferencia entre ambos Voith de 0,6°C, totalmente despreciable, perfectos. No hay evaluación sin carga.



Sistemas Electromecánicos:

Generador Auxiliar: Sólo estuvo en marcha el N° 2 de Er. y no se realizó ensayo tras la maniobra, temperatura aceptable.

Acoplamiento Generador Auxiliar – Alternador: Ocurre al igual que con el generador auxiliar, ya que van emparejados, temperatura correcta.

Motor Eléctrico BAS MP 1 y 2: Sin carga, ambos motores trabajan perfectamente y equilibrados térmicamente, pero sucede, que normalmente trabaja mas el N° 1, no hay ensayo para el N° 2 tras remolque, no estaba en servicio.

Compresor Aire Arranque: Cabe decir, que ambos compresores y motores eléctricos están correctos y de resultados muy similares.

Aislamientos colectores de motores: En principio tanto los colectores de exahustación de los motores principales y auxiliares, presentan aislamientos bastantes homogéneos, son mínimas las pérdidas de calor radiado al exterior.

Destacar, que aunque no se ha introducido resultados de temperaturas de los cuadros eléctricos, también sería una buena opción contemplarlos.

OBJETIVOS:

En primer lugar, a través de termografía pasiva, detectaremos aquellos puntos calientes o patrones no comunes por comparación directa in situ y subsanar el problema.

En segundo lugar, otro objetivo muy importante, es realizar un seguimiento de todos los equipos, servicios e instalaciones, configurando una base de datos de todas las temperaturas en función de las horas de servicio de cada componente, reagrupando la información de forma similar al cuadro Excel anterior.

De éste modo podremos observar la tendencia de la curva de temperatura de los componentes y estudiar la trazabilidad de los mismos.

Siguiendo éste criterio y con la información del fabricante de los componentes, podemos predecir y prevenir los problemas de situaciones adversas que derivan del uso de los componentes e instalaciones o montajes imprecisos de los mismos.

***Proyecto:** Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.*

***Autor:** Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara*



Capítulo 7. Conclusiones.

Tras el estudio de los principios, funcionamiento y las aplicaciones de la termografía infrarroja, se llega a la conclusión de que presenta ciertas ventajas. Ya que es una técnica no destructiva y no invasiva, disminuye las interrupciones en los procesos productivos y se controla la integridad del sistema que los alimenta y protege.

El ahorro final depende del intervalo de tiempo en que se realice el mantenimiento predictivo. La inspección se realiza a distancia, sin contacto físico con la pieza a inspeccionar, por lo que se pueden inspeccionar zonas inaccesibles o peligrosas sin poner fuera de servicio las instalaciones, y sin entrañar riesgo para el operador. Además, permite la detección exacta del punto defectuoso en tiempo cuasi-real, lo que permite cuantificar la gravedad y repercusión del defecto además de programar las acciones necesarias de mantenimiento. En consecuencia, se disminuyen las actuaciones de mantenimiento tradicional: las anomalías se predicen con suficiente antelación para que sean reparadas y no se llegue a producir una avería que supondría un considerable tiempo de reparación.

Al poder realizar un seguimiento preventivo del funcionamiento de los equipos es posible corregir las anomalías detectadas en el menor tiempo posible para alargar su vida útil.

Permite un uso más eficiente de la energía, ya que posibilita una disminución del consumo de los equipos de calefacción/refrigeración actuando sobre las causas que originan pérdidas de frío o de calor. Se consigue, por tanto, un ahorro económico y un menor impacto sobre el medio ambiente.

Sin embargo la termografía también tiene algunas limitaciones, como por ejemplo su alto coste, ya que requiere el empleo de recursos de soportes y programas informáticos que suponen inversiones significativas. Además las cámaras termográficas de calidad tienen precios altos y requieren operarios con formación especializada y una amplia experiencia.

Por otro lado, las imágenes pueden ser difíciles de interpretar con precisión cuando se basa en ciertos objetos, concretamente aquellos con temperaturas erráticas o con discontinuidades internas si no se manifiestan externamente por incremento de la temperatura.

Como se desprende de los ejemplos prácticos, las mediciones de la temperatura se ven dificultadas por emisividades diferentes, los reflejos de otras superficies y la precisión de las cámaras, que no son tan exactas como los métodos de contacto. Sin embargo, aunque no sea posible en todos los casos detectar las temperaturas con exactitud, sí que es posible distinguir y reconocer objetos con diferente radiación infrarroja.



Bibliografía

Artículos consultados

Termographic Image Processing for NDT

Clemente Ibarra-Castanedo, Abdelhakim Bendada and Xavier Maldade
Electrical and Computing Engineering Department
Quebec City (Quebec) G1V 0A6 Canada.

Infrared Thermography Advances.

John R. Snell Jr.
Robert W. Spring
October 2, 2007

Experimental Comparison of Lock-in and Pulsed Thermography for the Nondestructive Evaluation of Aerospace Materials.

W. Ben Larbi, C. Ibarra-Castanedo, M. Klein , A. Bendada, and X. Maldague
Electrical and Computing Engineering Department, Université Laval,
Quebec City (Quebec) G1V 0A6 Canada.

Analysis of Ultrasonic Elastic Waves in Vibrothermography using FEM.

W. Ben Larbi, C. Ibarra-Castanedo, M. Klein , A. Bendada, and X. Maldague
Electrical and Computing Engineering Department, Université Laval,
Quebec City (Quebec) G1V 0A6 Canada.

Neonatal Infrared Thermography Image Processing.

Lluís Bayo Catalan.

Helmholtz-Institute For Biomedical Engineering Rwth Aachen.

Procesamiento de imágenes infrarrojas para la detección de defectos en materiales.

Hernán D Benítez¹, Clemente Ibarra-Castanedo², Abdelhakim Bendada³, Xavier Maldague⁴, Humberto Loaiza⁵, Eduardo Caicedo⁶.

Contribuciones a las técnicas no destructivas para evaluación y prueba de procesos y materiales basadas en radiaciones infrarrojas.

Daniel Aquilino González Fernández.
Universidad de Cantabria.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Termografía Infrarroja Aérea: Una Herramienta en el Manejo de Propiedades Para Operadores de Sistemas de Calentamiento de un Distrito Determinado.

Greg Stockton.

Stockton Infrared Thermographic Services, Inc.

Detección de incendios forestales con cámaras termográficas en Soria.

Elena Soria Abad.

Aplicación de la termografía al estudio de pérdidas energéticas en edificios.

G. SANGLIER.

Dpto. de Observación de la Tierra, Teledetección y Atmósfera. INTA.

Torrejón de Ardoz, Madrid.

Thermographic Inspection of Rotor Blades.

Peter MEINLSCHMIDT, Jochen ADERHOLD

Fraunhofer-Institute for Wood Research (WKI), Braunschweig, Germany.

A review of NDT techniques for wind turbines.

M A Drewry and G A Georgiou.

Aplicaciones de la termografía infrarroja y la espectrorradiometría en el estudio del deterioro del patrimonio arquitectónico nacional.

J. A Cusido, M. Devant y J. Riba.

Institut de Tecnologia i Modelització Ambiental (UPC) Catalunya.

Proyecto: *Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.*

Autor: *Francisco Javier Villaescusa Egea.*

Director: *Federico López-Cerón de Lara*



Páginas webs

Termografía infrarroja como ensayo no destructivo: detección de defectos en componentes aerospaciales

<http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/11149-Termografiainfrarroja-ensayo-no-destructivo-deteccion-defectos-componentesaerospaciales.html>

Obtesol, Observatorio Tecnológico de Soldadura

http://www.obtesol.es/index.php?option=com_content&task=view&id=2794&Itemid=31

Xuletas – Principios de la Termografía

<http://www.xuletas.es/ficha/principios-de-la-termografia-1/>

QuimiNet, Información y Negocios Segundo a Segundo

<http://www.quiminet.com>

Universidad de Castilla y La Mancha

<http://www.info-ab.uclm.es/labeltec/solar/otros/infrarrojos/fotodetectores.htm>

Cosmos, Tu Interfaz de Negocios

<http://www.cosmos.com.mx/j/tec/b1cx.htm>

SI Termografía Infrarroja

<http://www.termografia.com>

Jenck S.A, Instrumental Analítico

<http://www.jenck.com/productos/?idSubtecnica=10&idProducto=119&PHPSESSID=iljzfhqhsr#tab=0>

HGH, Systemes Infrarouges

<http://www.hgh.fr/scanner-infrarouge-thermographie-infrared-thermographyes.Php>

Rockwool

<http://www.rockwool.es/eficiencia+energ%C3%A9tica/stop+local+warming/termograf%C3%ADas>

Termografía Infrarroja, Soluciones en Imágenes Térmicas

<http://www.termografia.com.mx>

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



solomantenimiento.com, Portal de Mantenimiento e Industria
<http://www.solomantenimiento.com/m-termografia.htm>

investigaciondeincendios.com, Laboratorio de Ingeniería Forense
<http://estudios-termograficos.investigaciondeincendios.com/termografiaindustria/>

monografias.com - Mantenimiento Industrial. Termografía
<http://www.monografias.com/trabajos92/termografiamantenimiento/termografia-mantenimiento.shtml#aplicacioa>

InfraTec, Thermal imaging cameras for infrared thermography
<http://www.infratec.de/index.php?id=55&L=2>

Soliclima, Energía Solar
<http://news.soliclima.com/divulgacion/eficiencia-energetica/la-termografiaaplicada-a-los-edificios>

Net-wind, Mantenimiento de parques eólicos
<http://www.net-wind.es/servicio-28-16-mantenimiento-predictivo-ypreventivo.Php>

Icarus Solar, Energía solar, térmica y fotovoltaica
<http://www.icarus-solar.com/esFotovoltaica/instalacionesaisladas.html>

Voltimum, portal europeo líder de la instalación eléctrica
<http://www.voltimum.es/news/7484/cm/utilizacion-de-la-termografia-enplantas-fotovoltaicas.html>

Bottup – El mundo mágico de la fotografía infrarroja
<http://www.bottup.com/200902114302/cultura/el-mundo-magico-de-lafotografia-infrarroja.html>

El Mundo – Termografía en la restauración
<http://www.elmundo.es/magazine/2004/241/1083683781.html>

Heraldo de Soria - La restauración de las pinturas de Goya en la Cartuja de Aula Dei empezará en 2009
<http://www.heraldodesoria.es/index.php/mod.noticias/mem.detalle/idnoticia.10520/recategoria.308>

FLIR, The World Leader in Thermal Imaging
<http://www.flir.com>

Nivela, Equipos de topografía, acústica y termografía
<http://www.nivelatermografia.net/termografia>

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.
Director: Federico López-Cerón de Lara



Normativa y Reglamentación

<http://www.impic.es/normativa.html>

Goa Ibérica Tecnologías SL, diagnóstico de maquinaria

<http://goaiberica.es/uploadarchivos/vt.pdf>

Universidad Complutense de Madrid – Servicio de termografía aplicada a la edificación

<http://www.ucm.es/info/fisatom/docencia/Masterfisica/Renovables/info%20complementaria/Termografia%20aplicada%20ala%20edificacion.pdf>

Imedia Comunicación – Control de calidad en instalaciones fotovoltaicas

http://www.imediapr.es/relatiosolar-documentos_files/control-calidadinstalaciones-fotovoltaicas.pdf

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.

Director: Federico López-Cerón de Lara



Anexo 1.



1. Tabla de emisividad de diferentes materiales.

Material	Temperatura	ϵ
Aluminio, laminado brillante	170 °C	0,04
Asbestos	20 °C	0,96
Asfalto	20 °C	0,93
Algodón	20 °C	0,77
Hormigón	25 °C	0,93
Plomo, gris oxidado	20 °C	0,28
Plomo, muy oxidado	20 °C	0,28
Techo de fieltro	20 °C	0,93
Hielo, brillante	0 °C	0,97
Hielo, irregular	0 °C	0,99
Hierro, esmerilado	20 °C	0,24
Hierro brillante -grabado	150 °C	0,13
Hierro con cuero	100 °C	0,80
Hierro con láminas de cuero	20 °C	0,77
Hierro ligeramente oxidado	20 °C	0,61
Hierro muy oxidado	20 °C	0,85
Tierra cultivada arada	20 °C	0,38
Tierra, arcilla negra	20 °C	0,66
Tejas	25 °C	0,93
Yeso	20 °C	0,90
Vidrio	90 °C	0,94
Oro, pulido	130 °C	0,02
Caucho duro	23 °C	0,94
Caucho gris blando	23 °C	0,86
Madera	70 °C	0,94
Guijarro	90 °C	0,95
Corcho	20 °C	0,70
Esmeril rojo (desigual)	80 °C	0,86
Cámara calor, negra anodizada	50 °C	0,98
Cobre, ligeramente mate	20 °C	0,04
Cobre, oxidado	130 °C	0,76
Cobre, pulido	20 °C	0,03
Cobre, negro oxidado	20 °C	0,78
Plásticos (PE,PP, PVC)	20 °C	0,94
Hojas	20 °C	0,84
Mármol, blanco	20 °C	0,95
Recubrimiento de minio pintura	100 °C	0,93
Latón, oxidado	200 °C	0,61
NATO-verde	50 °C	0,85
Papel	20 °C	0,97
Porcelana	20 °C	0,92
Pizarra	25 °C	0,95
Pintura negra (mate)	80 °C	0,97
Seda	20 °C	0,78
Plata	20 °C	0,02
Acero (superficie tratamiento calor)	200 °C	0,52
Acero oxidado	200 °C	0,79
Arcilla, cocida	70 °C	0,91
Pintura transformadora	70 °C	0,94
Agua	38 °C	0,67
Ladrillo, mortero, yeso	20 °C	0,93
Zinc blanco (pintura)	20 °C	0,95

Tabla 6. Emisividades de diferentes materiales.

Proyecto: Aplicación de los END. Análisis de pérdidas energéticas mediante termografía infrarroja de la Cámara de Maquinas de un buque.

Autor: Francisco Javier Villaescusa Egea.

Director: Federico López-Cerón de Lara